

ISSN 1816-210X

ТРУДЫ НГТУ

им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

Нижний Новгород

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»**

**ТРУДЫ
НИЖЕГОРОДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

**№ 5 (107)
Специальный выпуск**

Нижний Новгород 2014

УДК 050(06)
ББК 9я54
Т 78

Т 78 Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева /
НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. № 5 (107), специальный выпуск. – 460 с.

Выходит 4 раза в год

Главный редактор С.М. Дмитриев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Н.Ю. Бабанов (зам. гл. редактора), М.В. Ширяев (зам. гл. редактора), Е.Г. Ивашкин (зам. гл. редактора),
О.В. Пугина (отв. редактор), А.В. Крылова (глав. редактор выпуска)

Члены редколлегии: В.Г. Баранов, В.Д. Вавилов, А.М. Грошев, В.М. Галкин, А.Е. Жуков,
А.Б. Дарьенков, В.Е. Колотилин, А.А. Куркин, Д.Н. Лапаев, М.Г. Михаленко, А.Ю. Панов,
В.П. Хранилов, А.Е. Хробостов, Е.А. Чернышов

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Федор Михайлович Митенков

(академик РАН, д-р физ.-мат. наук, проф.,
директор ОКБМ Африкантов)

Заместитель председателя

Сергей Михайлович Дмитриев

(д-р техн. наук, проф., ректор НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

Ответственный секретарь

Владимир Викторович Беляков

(д-р техн. наук, проф., начальник УНИИР)

ЗАРУБЕЖНЫЕ ЧЛЕНЫ СОВЕТА

Дмитрий Ефимович

Пелиновский

Ласло Палкович

Варлаки Петер

Виджай Кумар

PhD, проф. Математики, Университет Мак Мастера,
Хамильтон, Онтарио, Канада

Проф. Сечени Иштван Университет, Венгрия

Проф. Сечени Иштван Университет, Венгрия

Д-р философии, проф. – исследователь,

Шив Надар Университет, Индия

Ялчнер Ахмед К.

Д-р, профессор, METU, директор OERC, Турция

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Гуляев Юрий Васильевич

Член Президиума РАН, академик, д-р физ.-мат. наук, проф.,

директор Института радиоэлектроники РАН им. В.А. Котельникова

Гринберг Руслан Семенович

Член-кор. РАН, д-р эконом. наук, проф.,

Директор Института ФГБУН экономики РАН

Бабанов Николай Юрьевич

Канд. техн. наук, доцент, проректор на научной работе НГТУ

Ширяев

Канд. техн. наук, доцент, проректор по развитию НГТУ

Михаил Виссарионович

Ивашкин

Канд. техн. наук, доцент, проректор по учебной работе НГТУ

Евгений Геннадьевич

Митяков Сергей Николаевич

Д-р физ.-мат. наук, проф., директор ИНЭУ НГТУ

Куркин Андрей Александрович

Д-р мат. наук, проф., зав. кафедрой ПМ

Воротынцев

Д-р хим. наук, проф., зав. кафедрой ФТМКЭТ

Владимир Михайлович

Кондратьев

Член-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ВСТ

Вячеслав Васильевич

Рындык Александр Георгиевич

Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ИР

Раевский Сергей Борисович

Д-р техн. наук, профессор

Кошелев Олег Сергеевич

Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой МТКОДСП

Кулепов Виктор Федорович

Д-р техн. наук, профессор, директор ДПИ (филиал НГТУ)

УДК 050(06)
ББК 9я54

Электронная версия журнала:
<http://www.nntu.nnov.ru>

Свидетельство о регистрации СМИ
в Роскомнадзоре ПИИ № ФС 77-56417

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION
OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION
NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY
n.a. R.Y. ALEXEEV

TRANSACTIONS
of NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL
UNIVERSITY
n.a. R.E. ALEXEEV

№ 5 (107)
Special edition

Nizhni Novgorod 2014

Editor-in-Chief S.M. Dmitriev

EDITORIAL BOARD

N.Y. Babanov (Deputy Editor-in-Chief), M.V. Shiryaev (Deputy Editor-in-Chief),
Y.G. Ivashkin (Deputy Editor-in-Chief), V.V. Belyakov (Executive Secretary), O.V. Pugina (Executive Editor), A.V. Krylova
(Executive Editor), T.P. Novikova (Technical Editor)

Members of Editorial Board: V.G. Baranov, V.D. Vavilov, V.M. Galkin, A.M. Groshev, A.B. Darenkov,
A.E. Zhukov, V.Y. Kolotilin, A.A. Kurkin, D.H. Lapaev, M.G. Mikhaleenko,
A.Y. Panov, V.P. Khranilov, A.E. Khrobostov, Y.A. Chernyshov,

EDITORIAL COUNCIL

Chairman

Fedor Mikhailovich Mitenkov

Member of Russian Academy of Sciences
Head of OAO I.I. Afrikantov OKB Mechanical Engineering
Doctor of physical and mathematical sciences, professor
(Nizhniy Novgorod, Russia)

Vice – chairman

Sergei Mikhailovich Dmitriev

Doctor of technical sciences, professor
Rector of NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

Executive Secretary

Vladimir Viktorovich Beliaikov

Doctor of technical sciences, professor
Head of NSTU Research and innovative works office
(Nizhniy Novgorod, Russia)

*Dmitri Efimovich
Pelenovski
Laslo Palkovich
Varlaki Peter
Vidzhai Kumar*

Foreign members of Editorial council

PhD, Doctor of mathematical sciences, professor
McMaster University (Ontario, Canada)
The Széchenyi István University (Győr, Hungary)
The Széchenyi István University (Győr, Hungary)
PhD, Doctor of philosophical sciences, professor
Shiv Nadar University (India)
professor, head of Ocean Engineering Research Center
Middle East Technical University (Turkey)

Ialchner Akhmed K.

Members of Editorial council

Guliaev Yuri Vasilevich

Member of Russian Academy of Sciences
Doctor of physical and mathematical sciences, professor
Institute of Radio Engineering and Electronics (IREE) named after Academician V.A. Kotelnikov
(Moscow, Russia)

Grinberg Ruslan Semenovich

Associate member of the Russian Academy of Sciences
Doctor of physical and mathematical sciences, professor
Director of the Institute for International Economic and Political Studies at the Russian Academy
of Sciences
(Moscow, Russia)

Babanov Nikolai Iurevich

Doctor of technical sciences, professor
NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

Shiryaev

Mikhail Vissarionovich

Candidate of technical sciences, docent
Vice-rector for perspective projects
NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

Ivashkin

Evgeni Gennadevich

Candidate of technical sciences, docent
Vice-rector for teaching and learning enhancement
NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

Mitiakov Sergei Nikolaevich

Doctor of physical and mathematical sciences, professor
NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

Kurkin Andrey Aleksandrovich

Doctor of physical and mathematical sciences, professor
NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

Vorotyntsev

Vladimir Mikhailovich

Kondratev

Viacheslav Vasilevich

Doctor of chemical sciences, professor
NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)
Associate member of the Russian Academy of Sciences,

Doctor of technical sciences, professor
NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

Ryndyk Alexander Georgievich

Doctor of technical sciences, professor
NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

Raevski Sergei Borisovich

Doctor of technical sciences, professor
NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

Koshelev Oleg Sergeevich

Doctor of technical sciences, professor
NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

Kulepov Viktor Fedorovich

Doctor of technical sciences, professor
NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Electronic version of the journal:
<http://www.nntu.nnov.ru>*

СОДЕРЖАНИЕ

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.....	13
Аношкин Ю.И., Жиллов Д.М., Куценко К.В. К вопросу о методике расчетного анализа температурного режима тепловыделяющих элементов активной зоны реактора в области пристенного кипения водяного теплоносителя.....	13
Безносов А.В., Боков П.А., Новожилова О.О., Бокова Т.А., Соловьев А.О. Проблемы регулирования температуры расплава свинца на экспериментальном стенде ФТ-4 НГТУ.....	19
Безносов А.В., Боков П.А., Зудин А.Д., Львов А.В., Бокова Т.А., Трушков Н.В. Гидродинамика и работоспособность моделей ГЦН Брест-Од-300 в свинцовом теплоносителе на стенде ФТ-4 НГТУ.....	25
Михалицын Е.А., Кожевникова Т.В. Адаптация метода укорочения дифференциальных уравнений к решению краевой задачи о круглом экранированном однородном ферритовом резонаторе.....	34
Львов А.Е., Рудоясова Л.Г., Шишков Г.И., Щербаков В.В. Тонкопленочные полосковые аттенуаторы.....	40
Варенцов А.В., Солнцев Д.Н., Сорокин В.Д., Легчанов М.А., Хробостов А.Е. Экспериментальные исследования массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВС реакторных установок КЛТ-40С и РИТМ-200.....	47
НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА.....	52
Тесленко Д.С., Беляков В.В., Макаров В.С., Зезюлин Д.В. Использование метода конечных элементов для решения задач террамеханики.....	52
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.....	59
Дарьенков А.Б., Воротынцев И.В., Варыгин И.А. Имитационная модель электропривода на базе матричного преобразователя частоты.....	59
Колосов Р.В., Максимов Ю.М., Титов В.В. Система управления автономной группой возобновляемых источников энергии.....	65
Кралин А.А., Воротынцев И.В., Гуляев В.В. Исследование параллельной работы трехфазных трансформаторов со схемой соединения обмоток Y/Y_0 при пофазном регулировании.....	70
Вагин Г.Я., Солнцев Е.Б., Шевченко, А.С., Малафеев О.Ю. Методика экономического ранжирования осветительных приборов на основе «совокупной стоимости владения».....	75
Лапаев Д.Н., Мочалин Д.С., Титов В.Г. Управление системой воздушного охлаждения газа компрессорных стнаций.....	79
Ломакина Л.С., Садиков Д.Г., Титов В.Г. Энергосберегающий регулируемый электропривод газоперекачивающего агрегата.....	84
Смирнов А.Ю., Кралин А.А., Зимин А.Ю., Уснунц-Кригер Т.Н. Совершенствование электромеханических преобразователей для вертикального перемещения регулирующих органов.....	92
Соснина Е.Н., Кечкин А.Ю., Филатов Д.А. Вопросы электроснабжения потребителей, удаленных от сетевой инфраструктуры.....	100

Гребенщиков В.И., Чивенков А.И., Севастьянов В.В., Захаров И.А. Разработка систем управления интеллектуальных регуляторов параметров качества электрической энергии.....	106
---	-----

МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

(Материалы Региональной молодежной научно-практической конференции «Система менеджмента качества в машиностроении. Повышение уровня конкурентоспособности выпускаемой продукции» (Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 10-11 декабря 2014 г.).....	112
--	-----

Лямкин Г.Л., Стешов В.В. Исследование интенсивности теплообмена при охлаждении внутренней поверхности нагретой металлической трубы водовоздушными капельными струями.....	112
Стешов В.В., Лямкин Г.Л. Экспериментальная отработка внутренней системы охлаждения ствола артиллерийского орудия среднего калибра.....	117
Волкова И.Е., Бухнин А.В., Калашникова А.Г. Устройство для генерации и ввода пароля на базе микроконтроллера.....	122
Стешов В.В., Жаднов П.С. Адаптация компрессора для работы в транспортной установке с учетом широкого температурного диапазона окружающей среды.....	127
Стешов В.В. Система осушения сжатого воздуха пневмотранспортного автомата зарядания САО.....	131
Бибенин А.Н., Зотов А.В., Ширяев С.В. Система мер, направленных на обеспечение определения параметров функционирования сложных технических систем в ходе испытаний.....	134
Волкова И.Е., Соколова Ю.В. Оптимизация глубины диагностирования сложной системы с учетом весовых коэффициентов входящих в ее состав подсистем.....	139
Бибенин А.Н., Рудый В.И., Литовченко В.Н., Воробьев Р.А., Янкитова И.А., Карнавская Т.Г. Исследование механических свойств защитных тугоплавких покрытий, нанесенных методом ионно-плазменного вакуумного магнетронного напыления.....	143
Швецов А.В., Ложкин А.А., Юхновский И.А., Хайрулин Р.Р., Бенсон В.В., Бибенин А.Н., Волкова И.Е. Прогнозирование движения цели по данным телеавтомата сопровождения.....	147
Бибенин А.Н., Зотов А.В., Ширяев С.В. Выявление сложноидентифицируемых отказов функциональных подсистем мехатронных комплексов.....	151
Слуцкий В.Е., Зайцев А.А. Учет в баллистической подготовке артиллерийского комплекса деформаций ведущего пояска снаряда при выстреле.....	154
Слуцкий В.Е., Зайцев А.А. О методике проведения баллистической подготовки артиллерийских комплексов с использованием оборудования контрольно-проверочной машины.....	160
Волков А.С., Волкова И.Е., Земсков П.А. Комбинированный метод обнаружения утечек в нефтепроводе.....	166
Соколова Э.С., Волкова И.Е., Тимофеева О.П., Кадиленко Е.С. Особенности программной реализации системы управления беспилотными транспортными средствами.....	171
Волкова И.Е., Шагалова П.А., Ляхманов Д.А. Разработка системы многошагового прогнозирования на основе многослойной искусственной нейронной сети....	175
Лаптев И.Л., Лаптева Е.А. Повышение эффективности работы инструмента - зубила	179
Маликов Н.Ш., Слуцкий В.Е. Пространственная модель исследования динамики взаимодействия в системе «Орудие - ствол - выстрел» для решения задач точности стрельбы.....	184

Гаврилюк Е.А., Манцеров С.А., Синичкин С.Г. Методика оценки технического состояния систем автоматического управления газоперекачивающими агрегатами	191
Щекин А.М., Куликова Е.А. Программный модуль создания информационной модели детали.....	195
Щекин А.М., Куликова Е.А., Кочин А.Н. Оптимизация параметров рычажных механизмов станочных приспособлений.....	200
Стешов В.В. Стендовая отработка процессов транспортирования элементов выстрела пневмотранспортного автомата заряжания артиллерийского орудия.....	205
Кошелев О.С., Магницкая С.Ф. Некоторые вопросы диагностики машин.....	208
Петровский А.Н., Дружинин Г.А. Особенности двухпозиционного зубофрезерования.	213
Трофимова М.С. ARQP – процесс как инструмент развития отечественных предприятий – поставщиков автокомпонентов.....	220
Крайнов В.В. Эффективность дорнования в медных (волноводных) деталях.....	225
Балеев Б.Ф. Автоколебания каландровых батарей.....	230
Жилин П.Л., Конищев Б.П., Лебедев С.А. Исследование увеличения качества процесса сварки в CO ₂ с дополнительной холодной присадкой.....	235
Дербенев А.А. Метод прогнозирования показателей деформационного упрочнения металла в процессе холодной высадки крепежных изделий.....	238
Кошелев О.С., Иванов С.В., Чесноков Е.В. Анализ применяемых методов изготовления обечаек.....	243
Трофимова М.С., Трофимов С.М. Исследование эффективности инструментов бережливого производства <i>trim</i> и <i>smed</i> на примере работы оператора -надачника пресса FEINTOOL.....	247
Мезенцева Е.А., Кретинин О.В. Исследование автоматизированной системы оценки качества усвоения учебного материала для технической группы дисциплин	250
Шабаров Р.А., Кретинин О.В. Исследование организации информационных обменов между различными автоматизированными системами.....	255
Ершов В.Н., Ершов Н.В. Последствия удара для сложных систем.....	261
Серов А.С., Манцеров С.А., Синичкин С.Г., Максимов В.Ю. Автоматизированное рабочее место поверителя многозначных мер электрического сопротивления.....	265
Кретинин О.В., Сизов А.Ю., Туманов А.А., Федосова Л.О. Система автоматизированной оптимизации структурно-параметрических моделей по технико-экономическим критериям в виртуальной среде.....	271
Хадеев Р.Г., Синичкин С.Г., Манцеров С.А., Максимов В.Ю. Разработка модели процесса поверки делителей напряжений постоянного тока.....	276
Каляшина А.В., Кретинин О.В., Сизов А. Ю., Туманов А. А., Федосова Л.О. Разработка конструкции робототехнического комплекса для диагностирования протяженных замкнутых объектов (пзо) малых диаметров в среде AUTODESK INVENTOR с использованием системы автоматизированной оптимизации.....	282
Степанов К. В., Федосова Л.О. Использование робототехнической платформы <i>ni labview robotics starter kit</i> в учебном процессе.....	286
Кувшинова Н.Н. Возможность применения алюмотермии в центробежном литье	291
Кувшинова Н.Н. Направления развития экзотермической наплавки.....	296
Тихонова Н.Е. Оптимизация основных элементов и формы корпуса ледокола в зависимости от ледовых условий.....	302
Полынин Г. Е. Формирование контингента студентов первого курса в университете и некоторые пути решения возникающих проблем.....	309
Устинов Б.В., Гришин Е.Н., Аушев А.А., Мальцев И.М. Исследование влияния скоростной физикотехнической обработки током высокой плотности на структуру и свойства инструментальной стали 8Х6НФТ.....	317

Прыгин А.А., Зими́на Е.В., Кайнова В.Н. Анализ измерительной системы с базированием на координатно - измерительную машину.....	327
Беспалов В.В. Технологическое обеспечение качества машин.....	334
Метелёв Б.А. Развитие основных понятий об элементах технологического процесса механической обработки деталей.....	339
Иванов А.А. Оптимальные расписания при параллельной и последовательной обработке заготовок без переналадки станка.....	346
Шнейберг А.М., Михаленко Ф.П. О накопленной деформации при комбинированном нагружении осадка + кручение.....	351
Шестоперов В.Ю. Разрушение и оценка стойкости элементов конструкций, работающих в кавитирующей жидкости.....	361
Смоленский С.Ю., Поднозов В.Г. Формирование Т - образных соединений при сварке трением.....	366
Вавилов Ю.Н., Скобелева И.Ю. Грузозахватное устройство для печей молирования стекла.....	372
Кирюшов Д.П., Кварталов А.Р. Новые возможности AUTODESK INVENTOR 2015	376
Жилин П.Л., Конищев Б.П., Лебедев С.А. Исследование увеличения производительности и качества процесса сварки в CO ₂ с дополнительной холодной присадкой	381
Кварталов А. Р., Москвичев А.А. Автоматическое устройство размерной настройки режущих инструментов на токарном станке.....	388
Зимин М.Н., Каневский Г.Н., Коревский О.А., Пичугин А.С. Автоматизированная интегрированная технология фрезерно-гравировальных работ.....	394
Вольнов О.И., Дудукин Д.О. Стеклопластик. история развития, технология производства, формообразование деталей и современное применение.....	400
Запорожцев А.В. Управление инцидентами в задачах технического обслуживания и ремонта сложных комплексов	405
Каляшина А.В., Бердичевский Р.Б. Программная оптимизация производственных операций на примере мехатронного комплекса фирмы FESTO.....	411
Каляшина А.В., Цыбушкина М.М. Анализ функциональных возможностей INVENTOR API и Logic с целью их применения в учебном процессе технического вуза.....	416
Каляшина А.В., Кочеров А.В. Примерение алгоритмов нечеткого регулирования в производстве сульфата алюминия.....	421
Козлов И.К., Сироткин Д.Г. Исследования и разработки в области анодной сварки	426
Козлов И.К., Алексеев В.А. Оптимизация технологии изготовления сварного медицинского инструмента из титановых сплавов.....	432
Кузнецов С.В. Влияние поперечных сил на качество деталей, получаемых методами листовой штамповки.....	438
Кузнецов С.В. Методика экспериментального определения поперечных сил в зависимости от условий их проведения для технологических операций обработки металлов давлением.....	443
Кузнецов С.В. Методика теоретического определения поперечных сил в зависимости от условий их проведения для технологических операций обработки металлов давлением.....	448

CONTENTS

NUCLEAR POWER ENGINEERING AND APPLIED PHYSICS	13
Anoshkin Y.I., Zhilov D.M., Kutsenko K.V. On the issue of method of accounting analysis of temperature condition of fuel element of reactor core in area of wall boiling of water coolant.....	13
Beznosov A.V., Bokov P.A., Novozhilova O.O., Bokova T.A., Soloviev A.O. Problems of regulation melt temperature of lead on the experimental stand FT-4 NSTU.....	19
Beznosov A.V., Bokov P.A., Zudin A.D., Lvov A.V., Bokova T.A., Trushkov N.D. Hydrodynamics and performance of model the main circulation pump brest-od-300 lead coolant on bench FT-4 NNSTU.....	25
Mihalitsyn E.A., Kozhevnikova T.V. The adaptation of differential equations contraction method to solving boundary value problems about shielded circular homogeneous ferrite loaded cavity.....	34
Lvov A.E., Rudoyasova L.G., Shishkov G.I., Sherbakov V.V. Thin-film strip attenuators	40
Varentsov A.V., Solntsev D.N., Sorokin V.D., Legchanov M.A., Khrobostov A.E. Experimental researches of mass exchange of heat-carrier flow in fuel assemblies of the KLT-40S and RITM-200 reactors.....	47
LAND-BASED TRANSPORT SYSTEMS	52
Teslenko D.S., Belyakov V.V., Makarov V.S., Zezyulin D.V. Using finite-element method for solving terramechanics tasks	52
ELECTRICAL ENGINEERING AND POWER INDUSTRY	59
Daryenkov A.B., Vorotyncev I.V., Varygin I.A. Modelling and simulation of three phase matrix converter fed induction motor drive.....	59
Kolosoov R.V., Titov V.G., Maksimov Yu.M. Control system for autonomous group of renewable energy sources.....	65
Kralin A.A., Vorotyncev I.V., Gulyaev V.V. Research of parallel operation of three-phase transformers with y/y0 windings connection at phase by phase regulation.....	70
Vagin G. Ya., Solntsev E.B., Shevchenko A. S., Malafeev O. Yu. Methodology of the illuminants economic ranking based on total cost of ownership.....	75
Lapaev D.N., Mochalin D.S., Titov V.G. Direction of the air cooled heat exchanger of gas on the compressor station.....	79
Lomakina L.S., Sadikov D.G., Titov V.G. Energy efficient speed drive gas pumping unit.....	84
Smirnov A. Y., Kralin A. A., Zimin A. Y., Husnunts-Krieger T. N. Improvement of electromechanical transducers for vertical movement regulators.....	92
Sosnina E.N., Kechkin A.Y., Filatov D.A. Questions power supply consumers removed from network infrastructure.....	100
Grebenshikov V.I., Chivenkov A.I., Sevastyanov V.V., Zakharov I.A. Development of control systems of intelligent controllers electrical energy quality parameters.....	106

MECHANICAL ENGINEERING AND AUTOMATION	
PROCEEDINGS OF THE REGIONAL YOUTH SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE «Quality MANAGEMENT SYSTEM IN MACHINEBUILDING. IMPROVING PRODUCTS COMPETITIVENESS»	
(N. Novgorod: NSTU n.a. R.Y. Alexeev, 10-11 december 2014).....	112
Liamkin G.L., Steshov V.V. Research of heat-exchange rate when cooling the inner surface of a hot metal pipe with air-and-water drip jets.....	112
Steshov V.V., Liamkin G.L. Experimental development of an internal cooling system of a medium-caliber artillery barrel.....	117
Bukhnin A. V., Volkova I.E., Kalashnikova A. G. A microcontroller based device for password generation and entering.....	122
Steshov V.V., Zhadnov P.S. Adaptation of a compressor to operation in a transport mount with regard for wide ambient temperature range.....	127
Steshov V.V. Compressed air dehumidifying systems for sph pneumatic-transporting automatic loader.....	131
Bebenin A.N., Zotov A.V., Shiryaev S.V. System of actions directed on providing determination of functioning parameters of complicate technical systems during tests.....	134
Volkova I.E., Sokolova J.V. Optimization of depth diagnosis of the complex system, based on weight coefficients in its subsystems.....	139
Bebenin A.N., Rudy V.I., Yankitova I.A., Litovchenko V. N., Vorobyov R.A., Karnavskaya T.G. Investigation of mechanical properties of the protective refractory coating applied by the method of ion-plasma vacuum magnetron sputtering.....	143
Shvetsov A. V., Lozhkin A. A., Juhnowski I. A., Khairulin R.R., Benson V.V., Bebenin A. N., Volkova I. E. Prediction of target motion by data of an optical tracking system.....	147
Bebenin A.N., Zotov A.V., Shiryaev S.V. Identification of difficult to diagnostic refusals of functional subsystems mechatronic complexes.....	151
Slutsky V.E., Zaycev A.A. Accounting for deformations of the rotating band during firing in the ballistic preparation of artillery systems.....	154
Slutsky V.E., Zaycev A.A. On procedures of handling the ballistic preparation of artillery systems by applying the equipment of the check & test vehicle.....	160
Volkov A.S., Volkova I.E., Zemskov P.A. Combined method of leak detection in pipeline.....	166
Sokolova E.S., Volkova I.E., Timofeeva O.P., Kadilenko E.S. Peculiarities of control system software for unmanned vehicles.....	171
Volkova I.E., Shagalova P.A., Lyakhmanov D.F. Development of the multi-step-ahead forecasting system based on the multilayer artificial neural network.....	175
Laptev I.L., Lapteva E.A. Increasing effectiveness of chisel functioning.....	179
Malikov N. Sh., Slutsky V. Ef. 3D model for research on interaction dynamics withing “gun-tube-shot” system for the shooting accuracy tasks solution.....	184
Gavrilyuk E. A., Mantserov S. A., Sinichkin S. G. The methods of evaluation of technical condition of automatic systems of gas compressor units operational control.....	191
Schyekin A. M., Kulikova E. A. Software module for product information model creation....	195
Schyekin A. M., Kulikova E. A., Kochin A. N. Optimization of parameters of lever mechanisms of machine retaining devices.....	200
Steshov V.V. Developmental testing of the processes of conveying artillery round elements in the pneumatic-transporting automatic loader of an artillery gun	205
Koshelev O. S., Magnitskaya S. F. Some issues of diagnostics of machines.....	208
Petrovskiy A.N., Druzhinin G. A. Special aspects of two-position gear hobbing.....	213
Trofimova M. S. APQP process as an instrument for domestic autocomponents manufacturers and suppliers development.....	220

Kraynov V.V. Burnishing effectiveness in copper (waveguiding) pieces.....	225
Baleyev B.F. Self-sustained oscillations of calender roll sets.....	230
Zhilin P.L., Konishchev B.P., Lebedev S.A. Research on quality improvement of CO ₂ -shielded welding with an additional cold filler.....	235
Derbenev A. A. The method of forecasting indicators of strain hardening of the metal in the process of cold heading fasteners.....	238
Koshelev O. S., Ivanov S. V., Chesnokov E. V. Analysis of the methods used for shell production.....	243
Trofimova M. S., Trofimov S. M. Research on the effectiveness of tpm and smed lean production tools exemplified by “feintool” pressure machine (die) set up operator.....	247
Mezentseva E. A., Kretinin O. V. Studies of the automated system of quality evaluation of technical disciplines material.....	250
Shabarov R. A., Kretinin O. V. Study of the data exchange process between different automated systems.....	255
Ershov V.N., Ershov N.V. Impact effect on complex systems.....	261
Serov A.S., Mantserov S. A., Sinichkin S. G., Maksimov V. Yu. Automated work station of a verification officer for adjustable electric resistance measures.....	265
Kretinin O. V., Sizov A. Yu., Tumanov A. A., Fedossova L. O. Automated system for structural and parametrical models optimization upon technical and economic criteria in virtual environment.....	271
Khadeev R. G., Sinichkin S. G., Mantserov S. A., Maksimov V. Yu. Model development of direct current voltage dividers verification process.....	276
Kalyashina A.V., Kretinin O. V., Sizov A. Yu., Tumanov A. A., Fedossova L. O. Development of a robotic system construction for extended closed small diameter objects diagnostics in autodesk inventor environment using automated optimization system.....	282
Stepanov K. V., Fedossova L. O. «Ni labview robotics starter kit» robotic platform and its use in the teaching process.....	286
Kuvshinova N. N. The possibility of aluminothermic process application in centre die casting.....	291
Kuvshinova N. N. Fields of development of exothermic weld overlaying.....	296
Tikhonova N. E. Optimizing of the basic elements and shell architecture of an icebreaker depending on the ice conditions.....	302
Polynin G. E. Forming first year students contingent in the university and some ways of problem solution.....	309
Ustinov B.V., Grishin E.N., Aushev A.A., Mal'tsev I.M. Research of influence physical-treatment of speed electrothermal processing by current of high density on the structure and properties of 8H6NFT tools steel.....	317
Pryguin A. A., Zimina E.V., Kaynova V. N. Measuring system analysis basing on a coordinate inspection station.....	327
Bespalov V. V. Engineering support of the quality of the machines.....	334
Metelyov B. A. Development of the basic notions of the elements of the technological machining process.....	339
Ivanov A.A. Optimal schedules of parallel and consecutive processing of pieces without changeover.....	346
Schneiberg A. M., Mikhalenko F. P. Cumulative deformation at combined upset-torsion loading.....	351
Shestopyorov V. Yu. Damage (failure) and evaluation of durability of constructive elements operating in cavitating liquids.....	361
Smolenskiy S., Podnozov V. T joints forming under spin welding.....	366
Vavilov Yu. N., Skobeleva I. Yu. Load gripper for glass-bending furnaces.....	372
Kiryushov D.P., Kvartalov A. R. New options of autodesk inventor 2015.....	376

Zhilin P. L., Konischev B. P., Lebedev S. A. Resarch on productivity increase and quality improvement of co ₂ -shielded welding with an additional cold filler.....	381
Kvartalov A.R., Moskvichyov A. A. Device for automated cutting tools setting on a turning machine.....	388
Zimin M. N., Kanevskiy G. N., Korevskiy O. A., Pichuguin A. S. Automated integrated process of milling and engraving work.....	394
Volnov O. I., Dudukin D. O. Fiber glass plastic. history of development, production technology, product shaping and current usage.....	400
Zaporozhtsev A.V. Case management in maintenance and repair of complex equipment systems.....	405
Kalyashina A.V., Berdichevskiy R.B. Programmed optimization of working operations exemplified by mechatronic complex by «FESTO».....	411
Kalyashina A.V., Tsybushkina M. M. Inventor api and iLogic functional options analysis for the purpose of their usage in the course of the teaching process of a technical university.....	416
Kalyashina A.V., Kocherov A. V. Application of the fuzzy control algorithm in aluminum sulfate production.....	421
Kozlov I. K., Syrotkin D. G. Studies and developments in the field of anodic welding..	426
Kozlov I. K., Alekseev V. A. Welded medical instrument of titanium alloys production technology optimization.....	432
Kuznetsov S.V. Influence of cross-section forces on quality of the details received by methods of a sheet-metal forming.....	438
Kuznetsov S.V. Technique of experimental definition of cross-section forces depending on conditions of their holding for metal forming operations.....	443
Kuznetsov S.V. Technique of theoretical definition of cross-section forces depending on conditions of their holding for metal forming operations.....	448

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 621.039

Ю.И. Аношкин¹, Д.М. Жилов^{1,2}, К.В. Куценко²

К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ РАСЧЕТНОГО АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА В ОБЛАСТИ ПРИСТЕННОГО КИПЕНИЯ ВОДЯНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»²

Цель работы: Сопоставление различных методик расчета температурного режима оболочки тепловыделяющего элемента.

Методология/подходы: Представлены основные положения различных методик расчета температурного режима, проведено их сравнение на конкретном примере. В основу работы положен ряд изданий и публикаций по указанной тематике.

Границы исследования/вовлеченность: Приводится анализ расчетных значений коэффициентов теплоотдачи и температуры стенки ТВЭЛа на участке пристенного кипения.

Результаты/научная новизна/значение: Результаты расчетных значений коэффициента теплоотдачи и температуры наружной поверхности оболочки ТВЭЛа существенно зависят от методики расчета и отражают особенности основных положений использованной методики расчета. Целесообразность использования той или иной методики зависит от целей расчета.

Ключевые слова: кипение теплоносителя, коэффициент теплоотдачи, теплогидравлический расчет, теплообмен, тепловыделяющий элемент.

Введение

Разработка проектов и строительство легководных корпусных реакторов, принадлежащих к поколению III+, невозможны без проведения исследований, направленных на обоснование безопасности реакторных установок и эффективности проектных решений. В таких задачах важнейшее значение имеет расчетный анализ тепловых процессов в системах охлаждения реактора (как в условиях нормальной эксплуатации, так и при аварийных ситуациях). Очевидно, что достоверность такого анализа должна опираться на усовершенствованные расчетные методики.

Среди множества различных вопросов, которые должны рассматриваться при проектном обосновании безопасности легководных корпусных реакторов, расчету подлежат режимы, при которых в условиях нормальной эксплуатации на части твэлов в тепловыделяющей сборке активной зоны происходит поверхностное кипение недогретой до температуры насыщения воды. Однако существующие методы расчета температуры оболочек твэлов и других элементов реакторной установки в таких режимах базируются на эмпирических зависимостях, которые подтверждаются опытными данными, полученными при кипении воды лишь в определенных диапазонах давлений, тепловых нагрузок и недогревов жидкости до температуры насыщения.

Вклад различных механизмов теплообмена (конвективный перенос теплоты в однофазном потоке и дополнительный перенос тепла в результате процессов микроконвекции и фазового перехода в примыкающем к стенке перегретом слое жидкости) в общий тепловой поток в количественном выражении разными авторами оценивается по-разному.

Методики расчета коэффициента теплоотдачи

В данной работе используются две методики расчета коэффициента теплоотдачи и определения области пристенного кипения. Приведем их краткое описание.

1. Методика 1

Методика, представленная в [1], основана на расчете коэффициента теплоотдачи в области пристенного кипения теплоносителя по полуэмпирическим формулам.

Если в тепловыделяющем канале при двухфазном течении температура жидкой фазы теплоносителя (воды) t_b ниже температуры насыщения t_s , то в канале наступает режим поверхностного кипения. Когда температура воды достигает насыщения ($t_b = t_s$), то говорят о развитом объемном кипении. Для последнего режима коэффициент теплоотдачи $\alpha_{кин}$ можем рассчитать по формуле В.М. Боришанского [2]:

$$\alpha_{кин} = \frac{9q^{0,7}}{3,3 - 0,0113 \cdot (t_s - 100)}, \quad (1)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м².

Коэффициент теплоотдачи при развитом поверхностном кипении, когда $t_b^{пк} \leq t_b < t_s$, можно рассчитать по формуле:

$$\alpha_{пк} = \frac{\alpha_{кин} q}{q + \alpha_{кин} \cdot (t_s - t_b)}, \quad (2)$$

где t_b – температура жидкой фазы теплоносителя; $t_b^{пк}$ – граница начала развитого поверхностного кипения, определяемая по формуле:

$$t_{пк} = t_s - q \cdot \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha_{пк}} \right). \quad (3)$$

Наличие и протяженность участка развитого пристенного кипения теплоносителя можно определить путем сопоставления распределения температуры теплоносителя t_b с распределением температуры теплоносителя, при которой может существовать пристенное кипение $t_{пк}$.

2. Методика 2

Методика, представленная в работе [3], в которой интенсификация теплопередачи при кипении связывается с действием активных центров парообразования, а взаимный вклад однофазной конвекции и кипения в общий тепловой поток определяется размерами зон на поверхности нагрева, внутри которых преобладает тот или иной механизм теплоотдачи.

Центрами парообразования в кипящей жидкости являются имеющиеся на реальной поверхности многочисленные углубления, поры, трещины и т.д.

Имея в виду перенос тепла в результате совместного протекания однофазной конвекции и кипения в недогретой до температуры насыщения жидкости, запишем уравнение теплового баланса для единицы площади теплоотдающей поверхности как суперпозицию двух составляющих полного теплового потока q_c :

$$q_c = \alpha_{конв} \cdot (1 - S_{кин}) \cdot \Delta T + \alpha_{пк} \cdot S_{пк} \cdot \Delta T_s, \quad (4)$$

где $\alpha_{конв}$ – коэффициент теплоотдачи при конвективном теплообмене; $\Delta T = T_c - T_{ж} = \Delta T_s + \vartheta$ – полный температурный напор “стенка – жидкость” (ϑ – недогрев жидкости до температуры насыщения), а $S_{пк}$ – доля площади поверхности нагрева, занятая пузырьковым кипением.

Если предположить, что в зоне кипения площадь поверхности, приходящаяся в среднем на один центр парообразования, во всем интервале изменения ΔT_s вплоть до $\Delta T_{кр1}$ постоянна и равна $1/n_{ср}$, то в соответствии с представленной выше моделью

$$S_{пк} = 1 - erf \left[\frac{\varepsilon}{\sqrt{2}} \cdot (f(T_c, T_{ср}, T_s) - 1) \right], \quad (5)$$

где $erf(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^z e^{-x^2} dx$ – функция ошибок Гаусса, $f(T_c, T_{cp}, T_s) = \frac{\exp[r \cdot \Delta T_{cp} / R_f T_c T_s] - 1}{\exp[r \cdot \Delta T_s / R_f T_c T_s] - 1}$,

$\Delta T_s = T_c - T_s$ – перегрев теплоотдающей стенки относительно температуры насыщения при заданных параметрах процесса теплообмена при кипении (T_c или q_c), а T_{cp} и $\Delta T_{cp} = T_{cp} - T_s$ – температура стенки и ее перегрев в условиях, когда начинают активироваться впадины глубиной h_{cp} и менее, h_{cp} – средняя глубина впадин, σ_h – их среднее квадратичное отклонение, $\varepsilon = h_{cp} / \sigma_h$ – параметр шероховатости поверхности.

В итоге на основании формул (4), (5) для расчета коэффициента теплоотдачи α получим

$$\alpha = \alpha_{конв} + (\alpha_{нк} - \alpha_{конв}) \cdot S_{нк}. \quad (6)$$

Формулу (6) можно использовать при $0 < \Delta T_s < \Delta T_{cp}$. Отметим, что для предельных случаев, когда температура теплоотдающей поверхности близка к температуре насыщения (ΔT_s мало), $\alpha \rightarrow \alpha_{конв}$, а при $\Delta T_s \rightarrow \Delta T_{cp}$ коэффициент теплоотдачи $\alpha \rightarrow \alpha_{нк}$.

Сравнительный анализ методик расчета теплообмена при кипении теплоносителя на поверхности ТВЭЛов

Расчет теплообмена между стенкой ТВЭЛа и теплоносителем является частью теплового расчета активной зоны реактора. Тепловой расчет активной зоны проведен согласно методике, представленной в [4], для исходных данных, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для теплового расчета

Параметр	Обозначение	Значение
Тепловая мощность реактора	W	300 МВт
Давление теплоносителя первого контура	P_1	12 МПа
Температура теплоносителя на выходе из реактора	$t_{вых}$	320°C
Средний подогрев теплоносителя в реакторе	Δt_T	30°C
Распределение удельного теплового потока по высоте активной зоны	$q(z)$	$q(z) = q^{\max} \cdot \cos(1,327 \cdot z)$ z – безразмерная координата, $z = (-1 \dots 1)$.
Число ТВЭЛ в канале	$n_{ТВ}$	37 шт
Наружный диаметр оболочки ТВЭЛ	$d_{ТВ}$	8 мм
Высота активной зоны	H_0	1,1 м
Диаметр активной зоны	D_0	0,9 м
Топливо		UO ₂

Коэффициент теплоотдачи на участке развитого пристенного кипения:

1. Методика 1

Наличие и протяженность участка развитого пристенного кипения теплоносителя можно определить путем сопоставления распределения температуры теплоносителя $t_T(z)$ с распределением температуры теплоносителя, при которой может существовать пристенное кипение $t_{нк}(z)$.

Определим область существования пристенного кипения

$$t_T(z) > t_{нк}(z). \quad (7)$$

Температуру $t_{нк}$ рассчитываем по формуле (3).

Графики распределения температур t_m и $t_{нк}$ по высоте канала представлены на рис. 2.

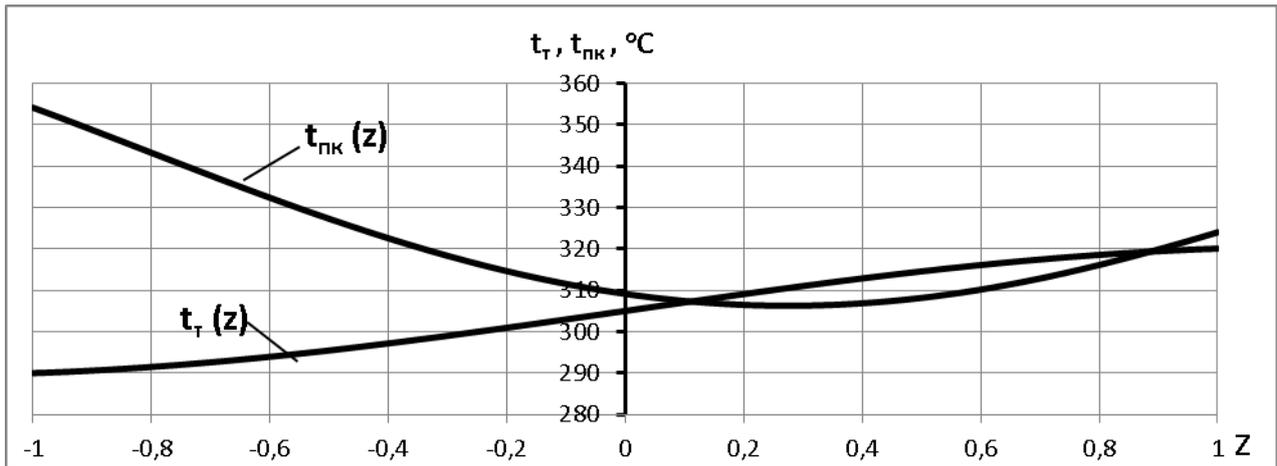


Рис. 2. График распределения температур t_T и $t_{пк}$ по высоте канала

Определяем область пристенного кипения: $0,12 \leq z \leq 0,88$

В области $-1 \leq z \leq 0,12$; $0,88 \leq z \leq 1$; $\alpha(z) = \alpha_{конв}$ – конвективный теплообмен.

В области $0,12 \leq z \leq 0,88$ $\alpha(z) = \alpha_{пк}$ – пристенное кипение теплоносителя.

Распределение температуры наружной поверхности ТВЭЛ $t_{об}^{нар}$ представлено на рис. 3.

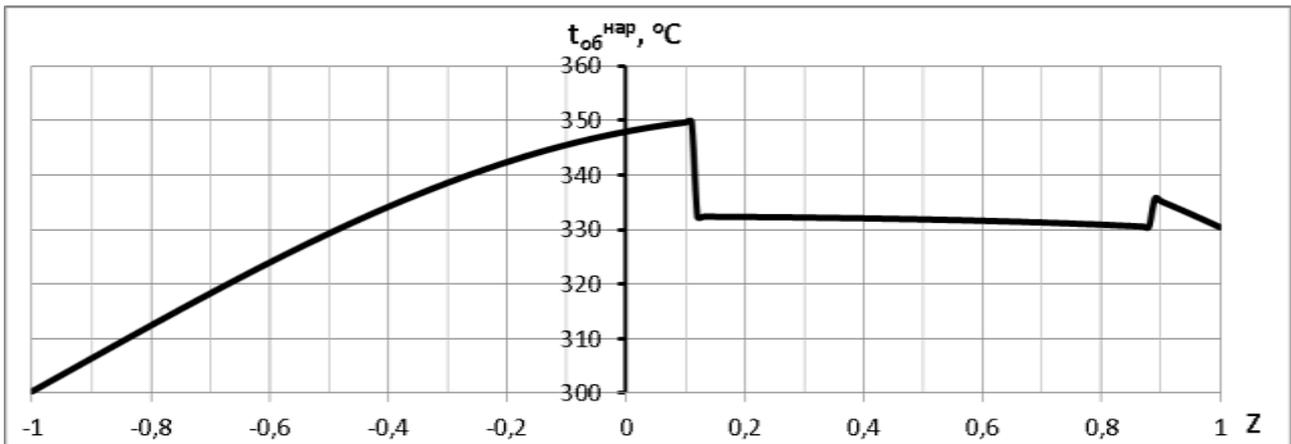


Рис. 3. График распределения температуры $t_{об}^{нар}$ по высоте канала

2. Методика 2

Для расчета коэффициента теплоотдачи на участке пристенного кипения по формуле (6), необходимо знать температуру стенки $t_{об}^{нар}(z)$.

В общем случае температуру $t_{об}^{нар}$ в координате $z = i$ находим следующим образом:

$$t_{об\ i}^{нар} = t_{Ti} + \frac{q_i \cdot \cos(\gamma_i)}{\alpha_i(T_{об\ i-1}^{нар})}, \quad (8)$$

$$\alpha_i(T_{об\ i-1}^{нар}) = \alpha_{конв} + (\alpha_{пк\ i} - \alpha_{конв}) \cdot S_{пк}(T_{об\ i-1}^{нар}), \quad (9)$$

$$S_{пк}(T_{об\ i-1}^{нар}) = 1 - \operatorname{erf} \left[\frac{\varepsilon}{\sqrt{2}} \cdot (f(T_{об\ i-1}^{нар}, T_{cp}, T_s) - 1) \right], \quad (10)$$

$$f(T_{об\ i-1}^{нар}, T_{cp}, T_s) = \frac{\exp[r \cdot \Delta T_{cp} / R_{\Gamma} T_{cp} T_s] - 1}{\exp[r \cdot \Delta T_{si-1}(z) / R_{\Gamma} T_{об\ i-1}^{нар} T_s] - 1}. \quad (11)$$

После нахождения температуры $t_{об}^{нар}{}_i$, методом итераций находим значения функций f_i , $S_{крит}$ и α_i , соответствующие полученной температуре стенки, предварительно задавшись требуемой точностью (например, 1%).

Графики распределения полученных по двум методам коэффициентов теплоотдачи α по высоте расчетного канала представлены на рис. 3.

I – метод 1, II – метод 2.

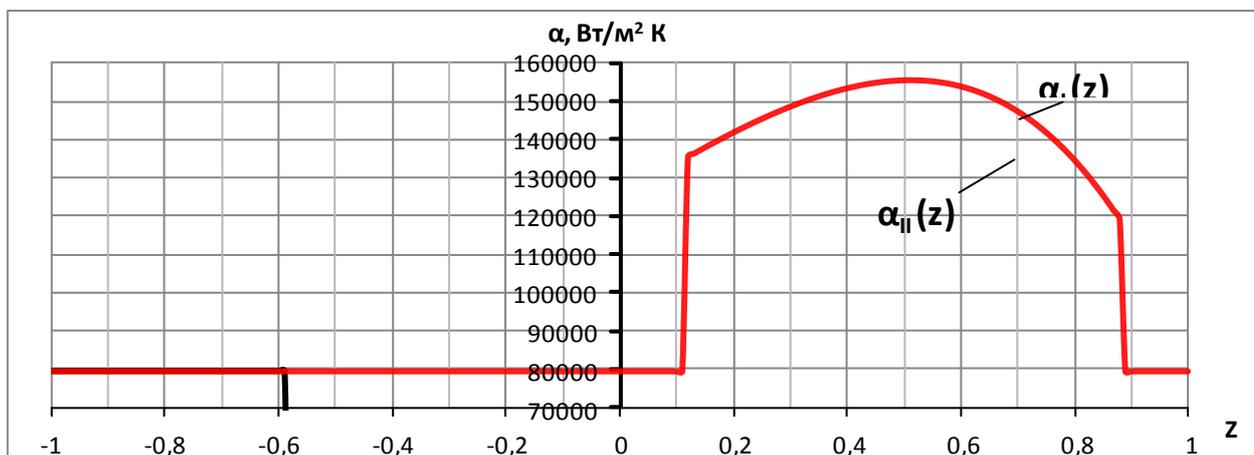


Рис. 3. График распределения коэффициента теплоотдачи по высоте канала

Графики распределения температуры наружной стенки $t_{об}^{нар}$, полученные по двум методам, представлены на рис. 4.

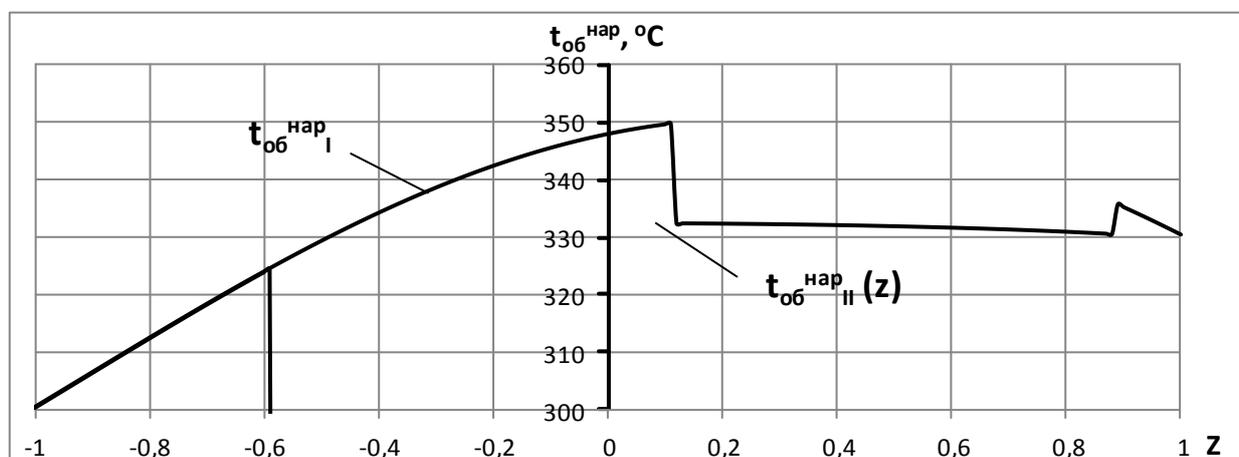


Рис. 4. График распределения температуры наружной оболочки по высоте канала

Заключение

Таким образом, полученные результаты расчетных значений коэффициента теплоотдачи и температуры наружной поверхности оболочки ТВЭЛа (рис. 3, 4) существенно зависят от методики расчета, особенно на начальном и конечном участке пристенного кипения, и отражают особенности основных положений использованной методики расчета. Так, методика 1 соответствует «предельному» подходу, при котором наступление пристенного кипения характеризуется ступенчатым увеличением коэффициента теплоотдачи и соответствующим ступенчатым уменьшением температуры поверхности оболочки от значений при конвективном теплообмене к значениям при развитом пристенном кипении.

В то же время методика 2 предполагает более детальный учет процессов возникновения и развития пристенного кипения, что и предопределило более плавный переход коэффициента теплоотдачи и температуры поверхности оболочки от значений при конвективном теплообмене к значениям при развитом пристенном кипении на начальном и конечном участках пристенного кипения. На участке развитого пристенного кипения величины коэффициентов теплоотдачи и соответствующих температур поверхности оболочки, полученные по методикам 1 и 2, практически совпадают.

Очевидно, что целесообразность использования той или иной методики расчета будет зависеть от целей расчета. В случае, когда целью расчета является определение фактической минимальной температуры поверхности оболочки ТВЭЛа на участке пристенного кипения, то достаточно использовать методику 1. Если же целью расчета является также определение границ участка с поверхностным кипением, то, безусловно, расчеты необходимо проводить по методике 2.

В случае же необходимости получения оценки амплитуды пульсаций температуры поверхности стенки на всем участке с пристенным кипением, связанных либо с самим процессом пристенного кипения, либо с нестационарностью режима работы ЯЭУ, целесообразно использовать результаты расчета по обоим методикам.

Библиографический список

1. **Клемин, А.И.** Теплогидравлический расчет и теплотехническая надежность ядерных реакторов / А.И. Клемин, Л.Н. Полянин, М.М. Стригулин. – М.: Атомиздат, 1980. – 261 с.
2. Теплообмен при кипении воды в широком диапазоне изменения давления насыщения / В.М. Боришанский [и др.] // Теплофизика высоких температур. 1964. №1.
3. Методика расчета теплообмена при кипении жидкости / В.И. Деев, Зар Ни Аунг, К.В. Куценко [и др.] // Ядерная физика и инжиниринг. 2011. Т. 2. № 5 С. 387–394.
4. **Аношкин, Ю.И.** Тепловой расчёт активной зоны водо-водяного реактора: метод. указания к практическим занятиям, курсовому и дипломному проектированию / Ю.И. Аношкин; НГТУ. – Н. Новгород, 1996.

*Дата поступления
в редакцию 20.11.2014*

Y.I. Anoshkin¹, D.M. Zhilov^{1,2}, K.V. Kutsenko²

ON THE ISSUE OF METHOD OF ACCOUNTING ANALYSIS OF TEMPERATURE CONDITION OF FUEL ELEMENT OF REACTOR CORE IN AREA OF WALL BOILING OF WATER COOLANT

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
National Research Nuclear university MEPHI²

Purpose: The main purpose of the paper is comparison of various methods of account of temperature condition of fuel element.

Methodology/approach: The paper presents the main points of various methods of account of temperature condition. The study performed the comparison of various methods. Several publication and studies were taken as the basis for the paper.

Research limitations/implications: The paper presents analysis of account of heat-transfer coefficient and the wall temperature of fuel element on a site of wall boiling.

Findings/originality/value: The results of the calculated values of heat transfer coefficient and the temperature of the outer surface of fuel element depend on the method of calculation and reflect the characteristics of the main provisions of the calculation methodology. Appropriateness of the use of a particular method of calculation depends on the purpose of calculation.

Key words: boiling of coolant, heat-transfer coefficient, thermal-hydraulic design, heat exchange, fuel element.

УДК 621.039.534

А.В. Безносков, П.А. Боков, О.О. Новожилова, Т.А. Бокова, А.О. Соловьев

**ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВА СВИНЦА
НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СТЕНДЕ ФТ-4 НГТУ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Предмет, тема, цель работы: В данной статье предлагается использовать для отвода тепла от контуров и систем с ТЖМТ эффективный теплообменник (ПГ) с водо-воздушной смесью, работающей при давлении, близком к атмосферному.

Метод или методологию проведения работы: В охладителе расплава жидкометаллического теплоносителя для исследовательских, испытательных стендов и установок, содержащем корпус с патрубками подвода и отвода жидкометаллического теплоносителя, трубную теплообменную систему с патрубками подвода воды и отвода воздушно-паровой смеси, перед патрубком подвода охлаждающей воды установлен регулятор её расхода, а перед ним – задатчик температуры, вход которого соединен с выходом термопреобразователя, установленного на патрубке отвода жидкометаллического теплоносителя, на входном участке труб теплообменной системы установлено устройство ввода капель воды в поток воздуха.

Результаты и область их применения: Предлагаемая для использования в составе экспериментального стенда конструкция теплообменника обеспечивает давление в полости охлаждающей среды, близкое к атмосферному и исключает возможность его существенного повышения на величину, большую гидравлического сопротивления отводящей трассы. Регулирование количества тепла, отводимого теплообменником, обеспечивается достаточно просто изменением расхода воды, поступающей из расходной ёмкости через регулирующие вентили низкого давления в камеру смешения и диспергирования струйки воды с расходом несколько дм^3 в час в воздушно-капельную эмульсию. При реализации такой конструкции возможно накопление отложений солей в районе отбойника – разбрызгивателя на выходе из внутренней трубы и на внутренних стенках нижней части внешней трубы. Эти отложения солей предполагается удалять водяной промывкой внутренних полостей труб в «холодном» состоянии при сдrenированном теплоносителе.

Выводы: Устройство охладителя (ПГ) может быть рекомендовано для стендов и ЯЭУ для регулируемого отвода тепла при давлении охлаждающей среды, близком к атмосферному.

Ключевые слова: теплоотвод, охладитель, свинцовый теплоноситель, модель, парогенератор.

Одной из проблем, возникающих при создании исследовательских и промышленных стендов с ТЖМТ, является отвод тепла от теплоносителя. Такая же проблема возникает при разработке стационарных режимов ЯЭУ с этим теплоносителем.

При создании охладителей расплавов свинца и его сплавов всегда необходимо разрешать противоречие, заключающееся в следующем. Необходимо, с одной стороны, обеспечивать отвод от высокотемпературного расплава жидкого металла задаваемое варьируемое количество тепла, поддерживая необходимую температуру расплава на выходе из охладителя. С другой стороны, необходимо исключить возможность замерзания расплава жидкого свинца (температура плавления свинца – $326\text{ }^\circ\text{C}$, эвтектики свинец-висмут – $125\text{ }^\circ\text{C}$) при всех изменениях температуры и расхода жидкометаллического теплоносителя на входе в охладитель.

Применение в охладителях расплава жидкометаллического теплоносителя традиционной теплоотводящей среды – воды – возможно только при ее давлении существенно выше атмосферного; для охлаждения воды и для исключения застывания расплава свинца давление воды должно быть более 200 кгс/см^2 , что существенно усложняет конструкцию охладителя и контура его циркуляции. Применение в охладителе другой традиционной теплоотводящей среды – воздуха, учитывая его теплофизические свойства, требует значительных поверхностей теплообмена, что существенно увеличивает массогабаритные характеристики охладителя и его стоимость, сложнее решается проблема первоначального разогрева охладителя до температуры выше температуры плавления жидкометаллического теплоносителя перед вводом охладителя в работу. Поддержание постоянной температуры жидкого металла

при варьируемых расходе и температуре теплоносителя на входе в охладитель возможно только за счет широкого диапазона расходов воздуха и, соответственно, изменения аэродинамического сопротивления охладителя, что существенно усложняет его конструкцию и контур циркуляции.

Нами предлагается использовать для отвода тепла от контуров и систем с ТЖМТ эффективный теплообменник (ПГ) с водо-воздушной смесью, работающей при давлении, близком к атмосферному.

Решаемая задача – создание конструкции охладителя расплава жидкометаллического теплоносителя для исследовательских, испытательных стендов и установок и режимов их эксплуатации, эффективности регулирования теплообмена и исключения замерзания тяжелого жидкометаллического теплоносителя при всех возможных режимах работы охладителя.

Технический результат – повышение эффективности регулирования теплообмена, поддержание заданной температуры жидкометаллического теплоносителя при всех возможных изменениях его расхода и температуры на входе в охладитель, исключение замерзания тяжелого жидкометаллического теплоносителя при всех возможных режимах его работы.

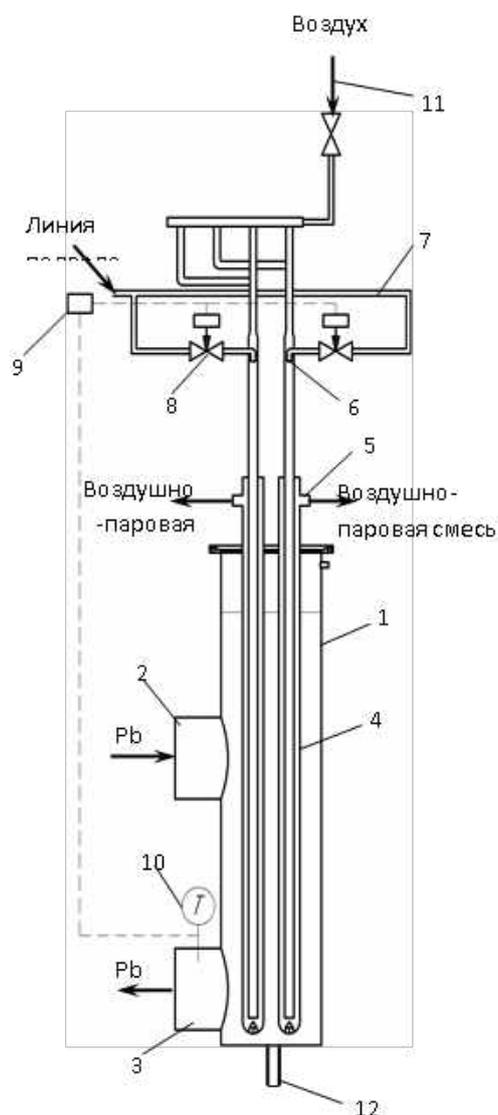


Рис. 1. Охладитель расплава жидкометаллического теплоносителя

Технический результат достигается тем, что в охладителе расплава жидкометаллического теплоносителя для исследовательских, испытательных стендов и установок, содержа-

щем корпус с патрубками подвода и отвода жидкометаллического теплоносителя, трубную теплообменную систему с патрубками подвода воды и отвода воздушно-паровой смеси, перед патрубком подвода охлаждающей воды установлен регулятор её расхода, а перед ним – задатчик температуры, вход которого соединен с выходом термопреобразователя, установленного на патрубке отвода жидкометаллического теплоносителя, на входном участке труб теплообменной системы установлено устройство ввода капель воды в поток воздуха.

Охладитель расплава жидкометаллического теплоносителя содержит теплообменный модуль, состоящий из корпуса 1 с крышкой, патрубка 2 подвода и патрубка 3 отвода тяжелого жидкометаллического теплоносителя, содержащего трубную теплообменную систему 4 в виде трубок Фильда; выходные патрубки 5 линии отвода воздушно-паровой смеси, сообщенные с атмосферой, устройство 6 ввода капель воды в поток воздуха, компрессор и подводящие патрубки, линию 7 подвода охлаждающей жидкости, на которой установлен регулятор 8 расхода воды, управляемый от задатчика 9 температуры и сигнала термопреобразователя 10, установленного в выходном потоке жидкометаллического теплоносителя в патрубке 3 отвода теплоносителя. Вход задатчика 9 температуры соединен с выходом термопреобразователя 10.

Работа системы теплообмена в технологическом режиме осуществляется следующим образом:

Начинается подача воды из линии 7 подвода воды в устройство 6 ввода капель воды в поток воздуха, куда одновременно начинается подача воздуха из компрессора в линию 11 подачи воздуха. В устройстве 6 ввода капель воды образуется водо-воздушный поток с мелкодисперсной водной средой, взвешенной в потоке, который поступает теплообменную систему 4 в виде трубок Фильда и, пройдя цикл нагревания, паровая смесь через патрубки 5 отвода воздушно-паровой смеси отводится в атмосферу. При изменении расхода жидкометаллического теплоносителя или при изменении температуры теплоносителя на выходе из охладителя, происходит регулирование подачи воды с помощью регулятора 8 расхода воды управляемого от задатчика 9 температуры и сигнала термопреобразователя 10, установленного в выходном потоке жидкометаллического теплоносителя. При выводе охладителя из действия прекращают подачу воды, затем отключают линию 11 подачи воздуха от компрессора. Остатки жидкометаллического теплоносителя дренируют через патрубок 12.

Основные технические характеристики

1. Расход свинцового теплоносителя через теплообменный модуль: до 1500 – 2000 т/час;
2. Температура свинца на входе в теплообменный модуль: до 550 °С;
3. Тепловая мощность теплообменного модуля, максимальная до ок. 50 кВт;
4. Число теплообменных трубок Фильда в модуле – 4 шт.;
5. Расход воды, подаваемой в трубки Фильда теплообменного модуля: $4 \times 10 = 40 \text{ дм}^3/\text{час}$;
6. Расход воздуха, подаваемого в трубки Фильда теплообменного модуля: $4 \times 30 = 120 \text{ м}^3/\text{час}$;
7. Гидравлическое сопротивление трубки Фильда по воздушнопаровой среде: 8 кгс/см²;

Давление в воздушнопаровой полости трубки Фильда (не более): 1,5–2,0 кгс/см² (атм).

Опыт создания таких теплообменников с жидкометаллическими теплоносителями отсутствует. Введение в проект стенда подобного теплообменника обусловлено следующим. При использовании «чисто» воздушного теплообменника его поверхность должна быть очень сильно развита с соответствующим увеличением габаритов и массы свинца в стенде; регулировать величину отводимого тепла затруднительно; сложно решаются вопросы разогрева и поддержания температуры теплообменника во всех случаях (разогрев, заполнение, стоянка без циркуляции и др.) без циркуляции «горячего» теплоносителя через теплообменник.

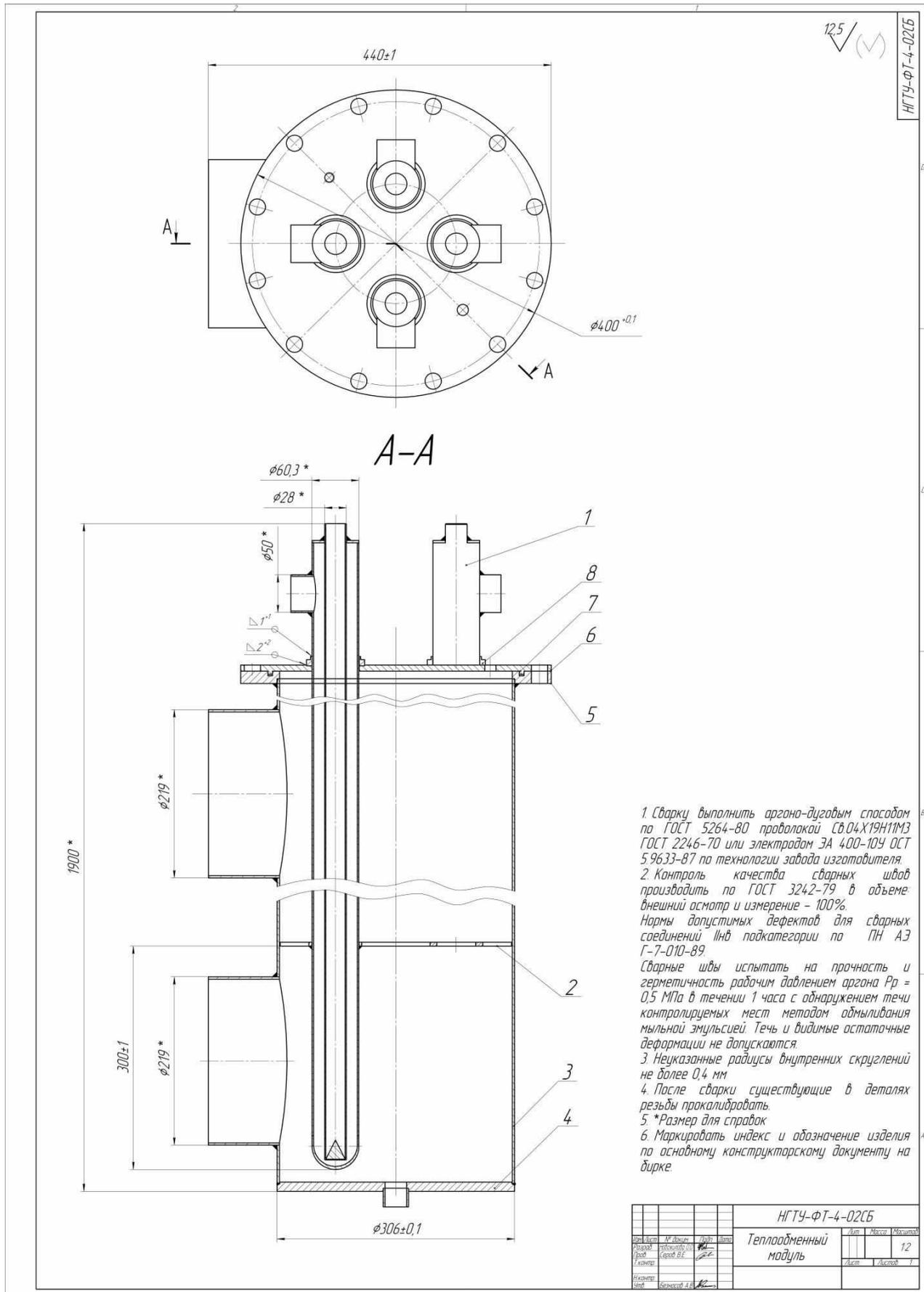


Рис. 2. Теплообменный модуль. Общий вид

При использовании «чисто» водяного теплообменника необходимо поддерживать давление в его водяных полостях исключая кипение воды при температурах, больших температур плавления свинца (более 200 кгс/см^2), что потенциально опасно в эксплуатации и сложно.

Предлагаемая для использования в составе экспериментального стенда конструкция теплообменника обеспечивает давление в полости охлаждающей среды, близкое к атмосферному, и исключает возможность его существенного повышения на величину, большую гидравлического сопротивления отводящей трассы.

Регулирование количества тепла, отводимого теплообменником, обеспечивается достаточно просто изменением расхода воды, поступающей из расходной ёмкости через регулирующие вентили низкого давления в камеру смешения и диспергирования струйки воды с расходом несколько дм^3 в час в воздушно-капельную эмульсию.

При реализации такой конструкции возможно накопление отложений солей в районе отбойника – разбрызгивателя на выходе из внутренней трубы и на внутренних стенках нижней части внешней трубки. Эти отложения солей предполагается удалять водяной промывкой внутренних полостей трубок в «холодном» состоянии при сдrenированном теплоносителе.

Охладитель (ПГ) предлагаемой конструкции позволяет повысить безопасность эксплуатации и эффективность регулирования теплоотвода от тяжелого жидкометаллического теплоносителя за счет испарения мелкодисперсной фазы воды в системе теплообмена в виде трубки Фильда, а также исключить замерзание высокотемпературного теплоносителя при операциях ввода и вывода охладителя из действия. Применение данной системы позволит уменьшить массогабаритные характеристики охладителя по сравнению с известными воздушными теплообменниками за счет уменьшения теплообменных поверхностей, необходимых для обеспечения охлаждения жидкометаллического теплоносителя, обеспечит удобство и простоту эксплуатации.

Эффективность работы рассматриваемой конструкции была проверена в процессе испытаний модели проточной части главного циркуляционного насоса БРЕСТ-ОД-300 на стенде ФТ-4 НГТУ летом этого года. До ввода в работу рассматриваемого теплообменника температура свинца в циркуляционном контуре стенда массой 10 тонн поднялась до 550°C за счет работы электронасоса $N=45 \text{ кВт}$ при n около 2000 об/мин. После ввода в работу устройства с водо-воздушной средой температура свинца в контуре снижалась со скоростью 50°C за 10 минут до температуры 480°C , после чего подача воды в поток воздуха уменьшилась и обеспечивалось поддержание температуры около 480°C при работе электронасоса стенда в том же режиме. Подобное устройство охладителя (ПГ) может быть рекомендовано для стендов и ЯЭУ для регулируемого отвода тепла при давлении охлаждающей среды, близком к атмосферному.

Библиографический список

1. **Безносков, А.В.** Характеристики теплообмена моделей поверхностей активной зоны и парогенератора при регулировании содержания примесей в контуре со свинцовым теплоносителем А.В. Безносков [и др.] // Атомная энергия. – М., 2008. Т. 104. Вып. 2. С. 74–0.
2. **Безносков, А. В.** Оборудование, компоновка и режимы эксплуатации контуров с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями в атомной энергетике / А.В. Безносков, Т.А. Бокова; НГТУ. – Н. Новгород. 2011.
3. **Безносков, А.В.** Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике / А.В. Безносков, Ю.Г. Драгунов, В.И. Рачков. – М.: ИздАт, 2007. – 434 с.

Дата поступления
в редакцию 20.11.2014

A.V. Beznosov, P.A.Bokov, O.O.Novozhilova, T.A.Bokova, A.O. Soloviev

**PROBLEMS OF REGULATION MELT TEMPERATURE
OF LEAD ON THE EXPERIMENTAL STAND FT-4 NSTU**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: In this article we propose to use to remove heat from the circuits and systems with HLMC efficient heat exchanger with a water-air mixture, operating at a pressure close to atmospheric.

Design/methodology/approach: In cooler molten liquid metal coolant for research, test benches and plants comprising a housing having inlet and outlet pipes of liquid metal coolant pipe heat exchanger system with pipes of water supply and discharge of air-vapor mixture, before the nozzle cooling water flow regulator is installed it, and before it - temperature adjuster having an input connected to the output of thermocouple mounted on the nozzle outlet the liquid metal coolant at the inlet portion of the heat exchange tubes of the input device set water droplets in the air stream.

Findings: Suggested for use in experimental stand the heat exchanger design provides the pressure in the cavity of the cooling medium, close to the atmospheric and eliminates the possibility of a significant increase in an amount greater than the hydraulic resistance of the escaping route.

Adjusting the amount of heat removed exchanger provided simply changing the flow of water coming from the tank through the flow control valves in a low-pressure mixing chamber, and dispersing the water streams at a rate of several dm^3 of air per hour in an emulsion droplet.

When implementing such a structure may buildup of salts in the impingement area - the sprinkler outlet of the inner tube and the inner walls of the lower portion of the outer tube. These salt deposits is supposed to remove the water purge the inside of the tubes in the "cold" state when drained coolant.

Research limitations/implications: The efficiency of the considered design has been verified in the process of testing a model of the flow of the main circulation pump BREST-OD-300 on the bench FT-4 NGTU this summer.

Originality/value: Cooler device can be recommended for stands and nuclear power systems for the controlled removal of heat at the pressure of the cooling medium, close to atmospheric.

Kew words: heat extraction, cooler, lead cooled, model, steam generator.

УДК 621.039

А.В. Безносков, П.А. Боков, А.Д. Зудин, А.В. Львов, Т.А. Бокова, Н.В. Трушков

**ГИДРОДИНАМИКА И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МОДЕЛЕЙ ГЦН БРЕСТ-ОД-300
В СВИНЦОВОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ НА СТЕНДЕ ФТ-4 НГТУ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Предмет, тема, цель работы: В данной статье описаны результаты исследовательских испытаний на стенде ФТ-4А целью которых являлось предварительное определение работоспособности проточной части осевого насоса с подшипниковым узлом.

Метод или методологию проведения работы: В НГТУ им. Р.Е. Алексеева спроектирован и изготовлен стенд ФТ-4 НГТУ, позволяющий проводить комплексные исследования характеристик модельных проточных частей осевого типа различной конструкции, при следующих основных параметрах: теплоноситель – свинец с температурой до 550°C; расход через модель насоса – до 2000 т/ч; напор насоса – до 1,5 м.

Результаты и область их применения: Проведенные исследования подтвердили принципиальную возможность создания осевого насоса, включающего гидростатический подшипник применительно к реакторной установке БРЕСТ-ОД-300 на свинцовом теплоносителе.

Выводы: Проведение на начальном этапе испытаний модели рабочего колеса РУ БРЕСТ-ОД-300 на свинцовом теплоносителе подтвердили неприменимость традиционных расчетных методик для проектирования проточной части осевых насосов перекачивающих ТЖМТ. Экспериментально полученные характеристики проточной части с колесами с семью и четырьмя лопатками рассчитанными по традиционным методикам практически совпали, но существенно отличаются от расчетных характеристик. Опытные данные показывают отсутствие повреждений и разрушений на входных участках лопаток рабочих колес и изменение геометрии и специфичный эрозийный износ выходных участков лопаток.

Ключевые слова: главный циркуляционный насос, напор, расход, осевое колесо, свинцовый теплоноситель, модель.

В НГТУ проводились исследовательские испытания и отработка моделей проточной части ГЦН РУ БРЕСТ-ОД-300 с осевыми рабочими колесами на стендах ФТ-4А НГТУ и ФТ-4 НГТУ.

Тяжелые жидкометаллические теплоносители (Pb, эвтектика Pb-Bi) по своим физическим свойствам существенно отличаются от традиционных теплоносителей (H₂O, Na). Расчетно-теоретические и экспериментальные исследования, а также опыт создания ГЦН РУ АПЛ проектов 705 и 705К со свинец-висмутовым теплоносителем, показывают, что существующие традиционные методы расчетов насосов непригодны для расчета насосов, перекачивающих ТЖМТ [1].

Испытания на стенде ФТ-4А

Целью исследовательских испытаний на стенде ФТ-4А являлось предварительное определение работоспособности проточной части осевого насоса с подшипниковым узлом. Условия испытаний: рабочее колесо – диаметром $\varnothing 220$ мм, температура свинцового теплоносителя $T = 420-550^\circ\text{C}$; подача насоса ок. 100 т/ч (расч.), напор ок. 2,0 м столба Pb; скорость вращения вала до 1200 об/мин; окружная скорость до 12 м/с, давление на входе в рабочее колесо ок. 0,05 МПа (ок. 0,5 кгс/см² (атм.)).

Какой-либо опыт создания и эксплуатации осевых насосов, перекачивающих высокотемпературные ТЖМТ в мире отсутствовал, испытания рассматривались как предварительные. Поэтому рабочее колесо было выполнено из стали 3, обладающей невысокими характеристиками стойкости в рассматриваемых условиях.

На рис. 1 представлена схема циркуляции теплоносителя в экспериментальном стенде при вращении осевого колеса. На рис. 2 представлена фотография экспериментального участка стенда ФТ-4А.

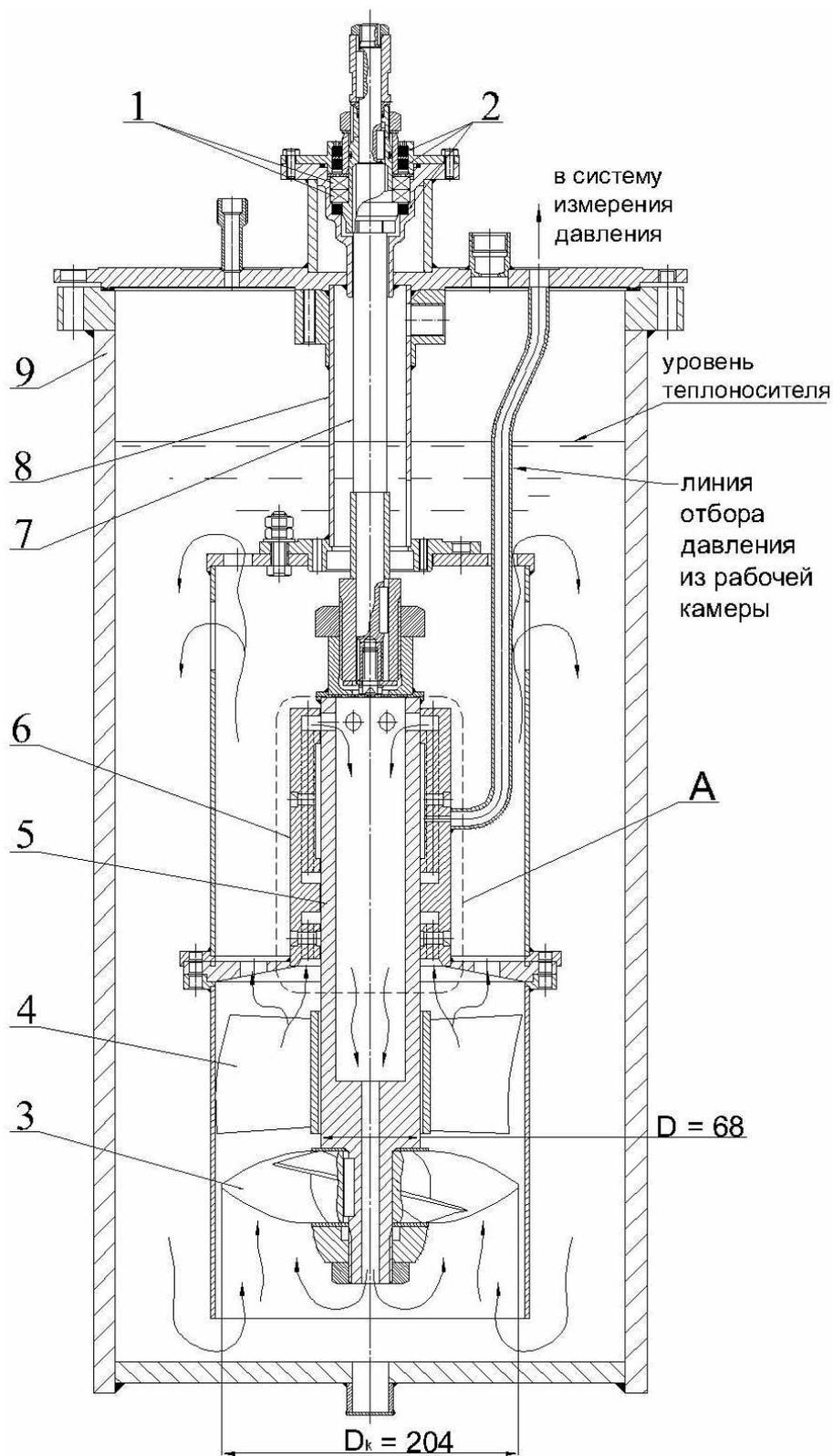


Рис. 1. Схема циркуляции теплоносителя в экспериментальном участке:

- 1 – верхний подшипниковый узел; 2 – узел уплотнения по газу;
 3 – осевое колесо; 4 – спрямляющий аппарат; 5 – имитатор вала ГЦН;
 6 – корпус подшипника; 7 – вал; 8 – корпус выемной части;
 9 – емкость с ТЖМТ



Рис. 2 Фото экспериментального участка (выемной части) стенда ФТ-4А

Циркуляция свинцового теплоносителя в каналах стенда осуществляется следующим образом. При вращении вала осевое колесо подает свинцовый теплоноситель снизу вверх в выпрямляющий аппарат. Выйдя из выпрямляющего аппарата основной поток теплоносителя поднимается вверх до крышки емкости, затем поворачивает на 180°C и опускается на вход рабочего колеса. Расчетные параметры циркуляционного потока высокотемпературного ($400\text{--}550^\circ\text{C}$) потока свинцового теплоносителя при $n=1200$ об/мин – подача – $1000\text{--}1200$ т/ч, напор – ок. $1,5$ м.ст.свинца, давление на входе в рабочее колесо $0,08\text{--}0,05$ МПа ($0,8\text{--}0,5$ кгс/см²(ата)). Часть потока с относительно небольшим расходом (ок. $0,5\text{--}0,8$ т/ч) поступает в гидростатический подшипник.

Результаты испытаний на стенде ФТ-4А.

- В первой серии исследований емкость (рис. 1) заполнялась водой при температуре $20\text{--}25^\circ\text{C}$ при атмосферном давлении. Скорость вращения осевого колеса составляла $300, 500, 750, 1000, 1200$ и 1500 об/мин. Время испытаний на каждом режиме для проведения необходимых замеров – около 1 часа.
- Во второй серии исследований (5 циклов) емкость (рис. 1) разогревалась до температуры $450\text{--}470^\circ\text{C}$, заполнялась свинцом, проводился режим формирования оксидных покрытий на сталях в емкости и проводились испытания при скорости вращения осевого колеса $300, 500, 750, 1000$ и 1200 об/мин. Время испытаний на каждом режиме – ок. 1 часа при активности O_2 $a=10^{-1} - 10^0$.
- В третьей серии (25 циклов) из-за отсутствия системы принудительного теплоотвода от свинца исследования проводились циклами. В состав цикла входили:
 - работа насоса в течение $20\text{--}40$ минут с увеличением температуры от 420 до 550°C за счет адиабатического подвода тепла;
 - останов насоса и естественное расхолаживание теплоносителя до 420°C ;
 - включение и работа насоса в течение $20\text{--}40$ минут с увеличением температуры от 420 до 550°C .
- В четвертой серии исследования проводились в режимах, аналогичных второму этапу, но при термодинамической активности O_2 в свинце $a=10^{-4} - 10^{-3}$.
- В пятой серии исследования проводились в режимах, аналогичных второму этапу, но при термодинамической активности O_2 в свинце $a=10^{-5} - 10^{-3}$. Общее число циклов за время исследований - 60 и суммарная продолжительность испытаний - около 80 часов.

После третьего этапа испытаний была проведена ревизия стенда, которая показала следующее:

- лопатки осевого колеса из низкокачественной стали 3 (для провоцирования износа при испытаниях) покрыты защитными оксидными покрытиями черного цвета;
- следы эрозионного износа поверхностей отсутствуют;
- зафиксировано замятие 2-4 мм периферийных кромок лопаток (рис. 3) по ходу потока; Возможной причиной замятия кромок является то, что толщина лопатки в данном сечении 1 мм и менее и низкие прочностные характеристики стали 3 при температуре 550 °С;
- следы эрозионного износа лопаток из выправляющего аппарата из стали 08X18H10T- отсутствуют (рис. 4).

После ревизии загнутые периферийные участки были удалены. После четвертой и пятой серий исследований состояние поверхностей проточной части насоса не изменилось. Какие-либо следы кавитационного износа после всех испытаний отсутствовали. Изменения акустических характеристик, аналогичных кавитационным, отсутствовали.

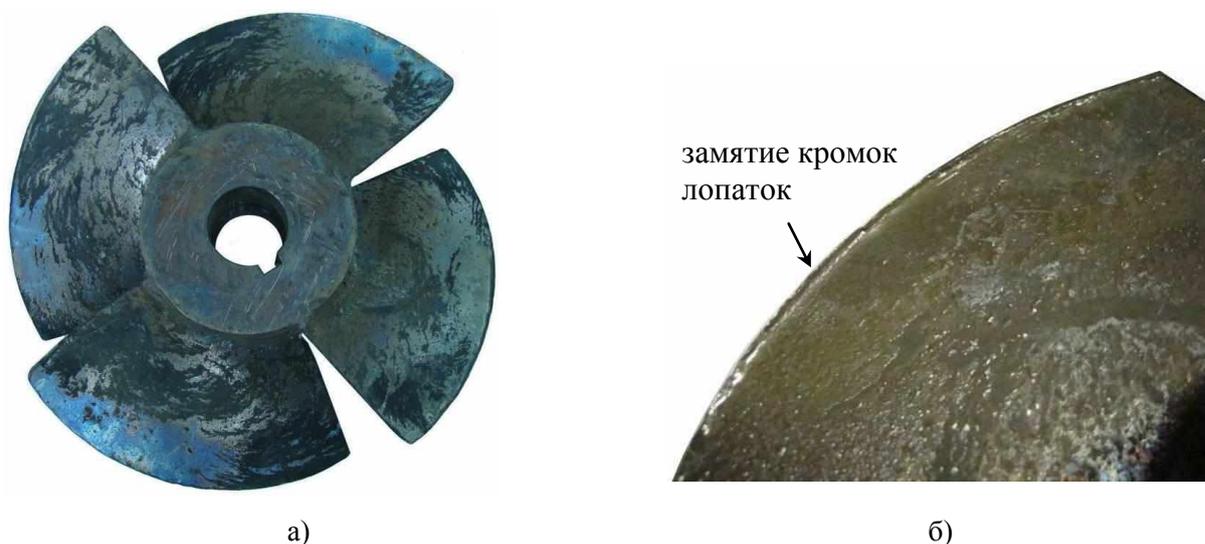


Рис. 3. Осевое колесо после третьего этапа:
а – осевое колесо; *б* – лопатка осевого колеса с замятым краем



Рис. 4. Спрямляющий аппарат:
а – до испытаний; *б* – после испытаний на свинце после третьего этапа

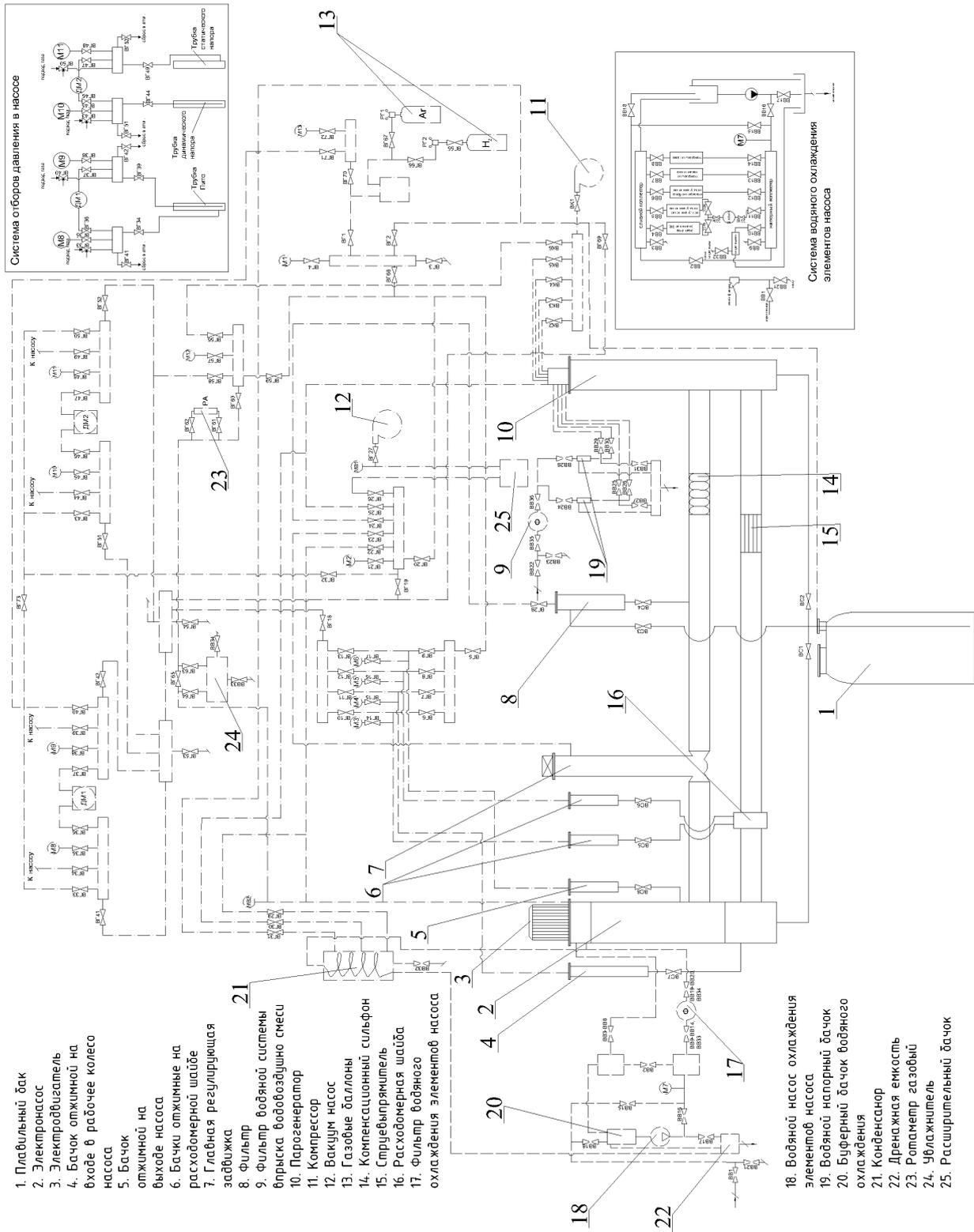


Рис. 5. Основные характеристики стенда ФТ-4 НГТУ

Во всех сериях испытаний (на воде и на свинце) во всех режимах производилось фиксирование нагрузки (тока) на электродвигатель: - на воде ($N=7,8$ кВт, $n_{ном}=1455$ об/мин), на свинце ($N=45$ кВт, $n_{ном}=2960$ об/мин).

Не зафиксированы изменения нагрузки на электроприводе насоса, соответствующие признакам возникновения развитой кавитации в среде свинцового теплоносителя.

Проведенные исследования подтвердили принципиальную возможность создания осевого насоса, включающего гидростатический подшипник. Дальнейшие исследования кавитационных характеристик проточных частей осевых насосов конструкций НГТУ и ЦКБМ проводились на стенде ФТ-4 НГТУ.

Основные характеристики стенда ФТ-4 НГТУ (рис. 5)

1. Теплоноситель – расплав свинца марки С0 ГОСТ 3778-98.
2. Масса теплоносителя 1×10^4 кг.
3. Температура свинцового теплоносителя – 450 – 500 °С, кратковременно 550°С.
4. Расход теплоносителя, максимальный до $2.0 \cdot 10^3$ кг/час (до 200 м³/час).
5. Термодинамическая активность кислорода в свинцовом теплоносителе 10-5-10-4 до 100 плюс твердая фаза оксидов свинца.
6. Привод электронасоса – электродвигатель асинхронный, 2 шт., пном=1500 об/мин и 3000 об/мин, Nном до 50 кВт, с частотным регулированием скорости вращения.
7. Мощность электро-нагревательных спиралей стенда, суммарная до 100 кВт, напряжение 380/220 В.
8. Подшипник скольжения электронасоса контура свинцового теплоносителя на первом этапе – гидростатический щелевого типа.
9. Рабочее колесо и выпрямляющий аппарат – сменные, 2 компонента ЦКБМ и 2 компонента НГТУ.
10. Газ в системе газа: аргон, водород, аргоно-водородная и аргоно-кислородная смеси.
11. Система обогрева оборудования и трубопровода контура свинцового теплоносителя – электрическая, нихромовыми спиралями с кордиеритовыми бусами.

Дальнейшие работы проводились на специально созданном стенде ФТ-4 НГТУ по двум направлениям:

- отработка моделей конструкции ЦКБМ проточной части ГЦН БРЕСТ-ОД-300;
- проведение исследовательских испытаний моделей конструкций НГТУ проточной части осевого насоса применительно к ГЦН БРЕСТ-ОД-300 с целью разработки представительных методов расчета проточной части осевых насосов, перекачивающих высокотемпературные ТЖМТ, а также отработки этих моделей конструкций, применительно к ГЦН РУ БРЕСТ-ОД-300.

Основные характеристики стенда ФТ-4 НГТУ (рис. 5).

Электронасос стенда НСО-01 НГТУ предназначен для проведения испытаний и отработки проточных частей моделей ГЦН РУ БРЕСТ-ОД-300, входящих в состав электронасоса, для обеспечения циркуляции по основному циркуляционному контуру стенда, а также для проверки конструктивных решений и отработки гидростатического подшипника, входящего в состав электронасоса.

Проточная часть электронасоса НСО-01 включает в себя сменные участки моделей (поставки ЦКБМ и НГТУ): входной патрубков; рабочее колесо и выпрямляющий аппарат. Участок модели проточной части от выпрямляющего аппарата и нижней части трубы постоянного напора входит в состав НСО-01 НГТУ и является несменным (постоянным). Участок верхней части трубы постоянного напора модели и устройства поворота потока входит в состав НСО-01 при испытаниях мог демонтироваться.

Испытания 2013 года с проточной частью ЦКБМ включали в себя следующие этапы:

- кавитационные испытания;
- определение напорно-расходных и энергетических характеристик с установленной верхней частью и устройством поворота потока;
- определение напорно-расходных и энергетических характеристик с демонтированной верхней частью трубы постоянного напора и устройством поворота потока;
- ресурсные испытания.

Проведение кавитационных испытаний позволило определить режим возникновения кавитации (газовой) и его характеристики. Напорно-расходные и энергетические испытания

моделей, спроектированных по традиционным методикам, показали, как и следовало ожидать существенное расхождение характеристик испытаний на свинце с расчетами. После испытаний на третьем и четвертом этапах выявлено изменение геометрии (загиб) выходных кромок всех лопаток и появление на них эрозионного износа (рис. 7).

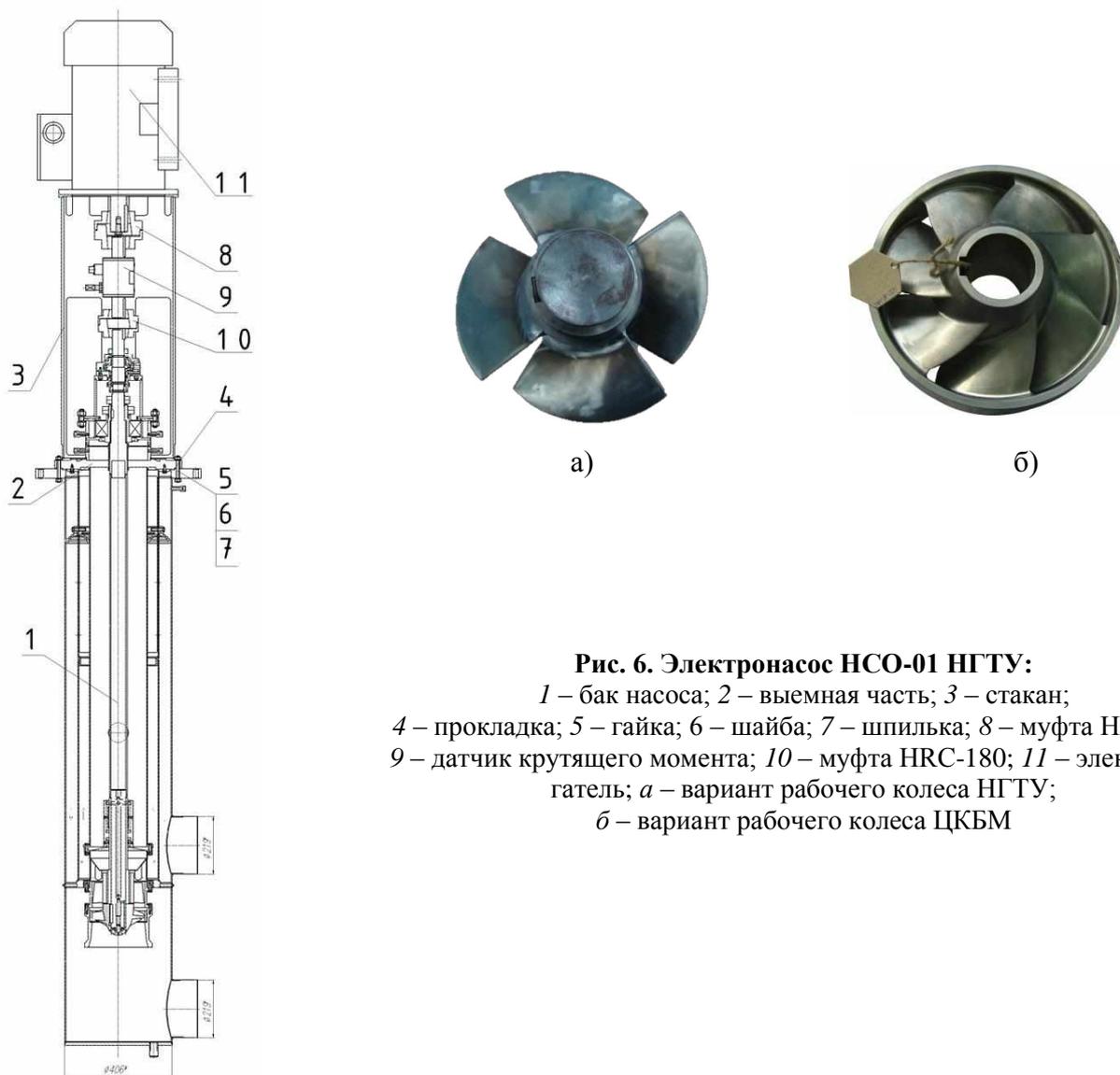


Рис. 6. Электронасос НСО-01 НГТУ:

1 – бак насоса; 2 – выемная часть; 3 – стакан;
4 – прокладка; 5 – гайка; 6 – шайба; 7 – шпилька; 8 – муфта HRC-150;
9 – датчик крутящего момента; 10 – муфта HRC-180; 11 – электродвигатель;
а – вариант рабочего колеса НГТУ;
б – вариант рабочего колеса ЦКБМ

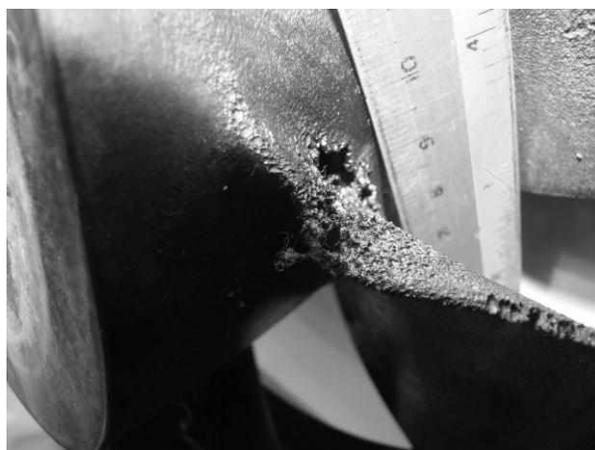


Рис. 7. Эрозионный износ выходных кромок лопаток после ресурсных испытаний

В процессе испытаний по определению влияния осевого зазора между рабочим колесом и выпрямляющим аппаратом конструкции модели НГТУ в результате аварийного самопроизвольного откручивания гаек на болтах крепления входного патрубка произошло совместное вращение рабочего колеса и входного патрубка ($n=1200$ об/мин) со смещением на ок. 3,0 мм с осью последнего. Заклинивание вала насоса, развитие и протекание аварии привело к разрушению выходных участков лопаток рабочего колеса (рис. 8, 9).



Рис. 8. Разрушение лопаток колеса

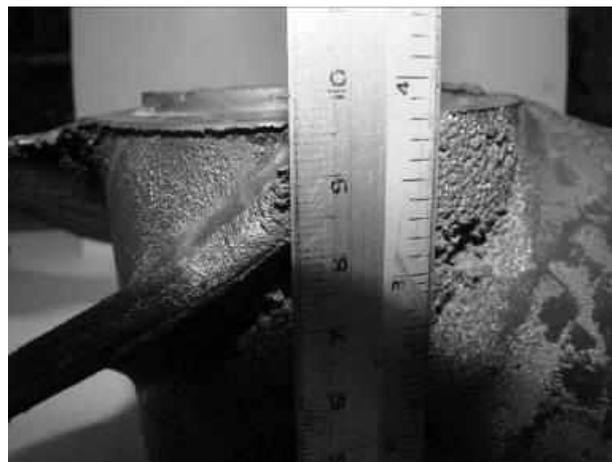


Рис. 9. Разрушение ступицы колеса

Заключение

1. Проведение на начальном этапе испытаний модели рабочего колеса РУ БРЕСТ-ОД-300 на свинцовом теплоносителе подтвердили неприменимость традиционных расчетных методик для проектирования проточной части осевых насосов перекачивающих ТЖМТ.

Экспериментально полученные характеристики проточной части с колесами с семью и четырьмя лопатками, рассчитанными по традиционным методикам, практически совпали, но существенно отличаются от расчетных характеристик.

2. Опытные данные показывают отсутствие повреждений и разрушений на входных участках лопаток рабочих колес и изменение геометрии и специфичный эрозионный износ выходных участков лопаток.

*Дата поступления
в редакцию 20.11.2014*

A.V. Beznosov, P.A. Bokov, A.D. Zudin, A.V. Lvov, T.A.Bokova, N.D. Trushkov

HYDRODYNAMICS AND PERFORMANCE OF MODEL THE MAIN CIRCULATION PUMP BREST-OD-300 LEAD COOLANT ON BENCH FT-4 NNSTU

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The purpose of the investigation tests on the FT-4A bench was to preliminarily measure performance of the flow part of the axial pump having a bearing unit. The NNSTU has carried out investigation tests and developments of the main circulation pump flow part of the BREST-OD-300 reactor plant with axial impellers on benches FT-4A NNSTU and FT-4 NNSTU.

Design/methodology/approach: At the NNSTU n.a. R.E. Alekseyev, the NNSTU FT-4 bench has been designed and manufactured, which allows conducting comprehensive studies of the characteristics of model flow parts of axial type having different designs at the following basic parameters: coolant – lead having a temperature up to 550°C; pump model flow rate – up to 2,000 t/h; pump head – up to 1.5 m.3)

Findings The conducted investigations proved the possibility in principle of creating an axial pump including a hydrostatic bearing. Further research of cavitation performance of axial pump flow parts designed by the NNSTU and the Central Mechanical Engineering Design Bureau was carried out on the FT-4 NNSTU bench.

Research limitations/implications: The tests carried out in 2013 with regard to the flow part designed by the Central Mechanical Engineering Design Bureau included the following stages:

- cavitation tests;
- determination of head-and-rate and energy characteristics with the upper part and flow turning device installed;
- determination of head-and-rate and energy characteristics with the constant head pipe upper part and flow turning device removed;
- endurance tests.

The cavitation tests made it possible to determine conditions of incipient cavitation (gaseous) and their characteristics.

The head-and-rate and energy tests of models designed according to the conventional techniques showed, as could be expected, a material inconsistency in characteristics of tests on lead with the design calculations.

After the tests at Stages 3 and 4, there was detected a change in geometry (bend) of the trailing edges of all vanes and appearance of erosive wear on them.

Originality/value: The initial-stage testing of the impeller model of the BREST-OD-300 reactor plant running on a lead coolant has confirmed inapplicability of the conventional design procedures for the flow part of axial pumps pumping heavy liquid-metal coolants.

The experimentally obtained characteristics of the flow part with impellers having seven and four vanes designed according to the conventional techniques have virtually coincided, but they greatly differ from the design characteristics.

The experimental findings show no damage or destruction at the inlet areas of the impeller vanes and changes in geometry and specific erosive wear of the impeller vane trailing areas.

Key words: main circulation pumps, head, expenses, axial wheel, lead coolant, model.

УДК 535.417.2

Е.А. Михалицын¹, Т.В. Кожевникова²

АДАПТАЦИЯ МЕТОДА УКРОЧЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ К РЕШЕНИЮ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ О КРУГЛОМ ЭКРАНИРОВАННОМ ОДНОРОДНОМ ФЕРРИТОВОМ РЕЗОНАТОРЕ

ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Цель: Адаптировать метод укорочения дифференциальных уравнений к расчету собственных резонансных частот ферритовых резонаторов.

Дизайн/методология/подход: Анализ ферритовой среды основан на трансформации уравнений Максвелла к укороченному однородному дифференциальному уравнению типа Гельмгольца. Краевая задача о круглом экранированном однородном ферритовом резонаторе решается в строгой постановке.

Выводы: Проведен расчет резонансных частот экранированного круглого ферритового резонатора с однородным аксиальным подмагничиванием. Кроме того, даны рекомендации по практическому применению результатов анализа ферритового резонатора.

Ограничения исследований/развитие исследований: Адаптированный метод укорочения исходных дифференциальных уравнений обеспечивает нас отправной точкой для дальнейших исследований экранированных и открытых резонаторов с ферритовыми элементами.

Оригинальность/значение: Проведенные исследования дают инженерам и специалистам базовую информацию относительно спектра резонансных частот экранированного круглого однородного резонатора.

Ключевые слова: ферритовый резонатор, метод укорочения дифференциальных уравнений.

Введение

Резонансные структуры с ферритовыми элементами являются базовыми элементами широкого класса СВЧ и КВЧ невзаимных устройств. Специфические свойства гиротропной среды, которые проявляются под действием приложенного магнитного поля, определяют невзаимные свойства вентилях и циркуляторов, а также позволяют создавать управляемые фазовращатели, перестраиваемые фильтры и антенны с управляемой диаграммой направленности.

Ранее группой авторов были детально исследованы процессы распространения электромагнитных волн в направляющих структурах с аксиально-намагниченными продольно регулярными ферритовыми слоями [1]. Дальнейшим развитием этого направления исследований является переход от волноводных структур к резонансным. Ферритовые резонаторы являются базовыми элементами развязывающих и переключающих КВЧ устройств. Детальное исследование спектра собственных колебаний таких структур позволит уточнить существующие и разработать более строгие методики расчета ферритовых СВЧ и КВЧ вентилях, циркуляторов и переключателей, позволив тем самым минимизировать усилия по экспериментальной оптимизации частотных характеристик устройств.

В данной статье рассматривается адаптация разработанного ранее метода решения краевых задач о направляющих структурах с ферритовыми слоями к расчету резонансных частот собственных колебаний круглого экранированного однородного ферритового резонатора.

1. Постановка краевой задачи о круглом экранированном ферритовом резонаторе

Рассмотрим круглый волноводный резонатор, образованный отрезком волновода длины h и радиуса a с заматрированными торцевыми плоскостями (рис. 1). Стенки резонатора принимаются идеально проводящими, а его заполнение – феррит с однородным внутренним магнитным состоянием. Магнитное поле смещения \vec{H} однородно и направлено

вдоль оси Oz . Тогда тензор магнитной проницаемости ферритового элемента запишется в виде [2]:

$$\hat{\mu} = \begin{vmatrix} \mu & -jk & 0 \\ jk & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_z \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где μ , k , μ_z - элементы тензора (в общем случае комплексные величины). Диэлектрическую проницаемость ферритового материала обозначим ε_f . Можно отметить, что в случае насыщения внутреннего магнитного состояния ферритового элемента компонент $\mu_z = 1$.

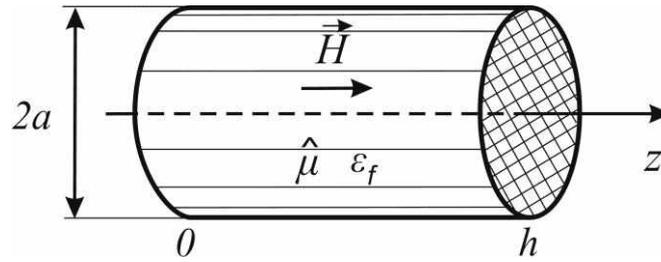


Рис. 1. Круглый экранированный однородный ферритовый резонатор

Уравнения Максвелла для комплексных амплитуд компонент электромагнитного поля \vec{E} и \vec{H} в ферритовой среде с аксиальным подмагничиванием записываются в виде:

$$\begin{aligned} \nabla \times \vec{H} &= j \omega \varepsilon_f \varepsilon_0 \vec{E} \\ \nabla \times \vec{E} &= -j \omega \hat{\mu} \mu_0 \vec{H} \end{aligned} \quad (2)$$

(ω – частота электромагнитного поля) и могут быть преобразованы к системе двух дифференциальных уравнений второго порядка относительно продольных компонент поля:

$$\begin{cases} \Delta_t H_z + \frac{\mu_z}{\mu} \frac{\partial^2 H_z}{\partial z^2} + K_f^2 \mu_z H_z = -K_f \eta_f \frac{k}{\mu} \frac{\partial E_z}{\partial z} \\ \Delta_t E_z + \frac{\partial^2 E_z}{\partial z^2} + K_f^2 \mu_{eff} E_z = \frac{K_f}{\eta_f} \mu_z \frac{k}{\mu} \frac{\partial H_z}{\partial z} \end{cases}, \quad (3)$$

где $\eta_f = \sqrt{\frac{\varepsilon_f \varepsilon_0}{\mu_0}}$ - характеристический адмитанс ферритовой среды;

$\mu_{eff} = \frac{\mu^2 - k^2}{\mu}$ - эффективная магнитная проницаемость феррита;

$K_f = \omega \sqrt{\varepsilon_f \varepsilon_0 \mu_0}$ - постоянная распространения в безграничной ферритовой среде.

При этом поперечные компоненты поля будут выражаться через продольные согласно следующей системе двух дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + K_f^2 \mu \right) \vec{H}_t + jK_f^2 k z_0 \times \vec{H}_t = \frac{\partial}{\partial z} \nabla_t H_z - jK_f y_f z_0 \times \nabla_t E_z; \\ \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + K_f^2 \mu \right) \vec{E}_t + jK_f^2 k z_0 \times \vec{E}_t = \frac{\partial}{\partial z} \nabla_t E_z + K_f / y_f (k \nabla_t H_z + j\mu z_0 \times \nabla_t H_z) \end{cases} \quad (4)$$

2. Адаптация метода укорочения к расчету продольно однородных резонансных ферритовых структур

Для решения полученной системы уравнений (3) и расчета поперечных компонент поля согласно (4) применим метод разделения переменных [3]: $H_z = T_H \cdot Z$, $E_z = T_E \cdot Z$. Результирующее электромагнитное поле резонансной структуры при этом представляется в виде суперпозиции прямой (\vec{E}^+ , \vec{H}^+) и обратной волн (\vec{E}^- , \vec{H}^-) закрытого ферритового волновода. Продольную зависимость компонент поля прямой волны будем полагать в виде $Z^+ = \exp(-j\beta z)$, обратной – $Z^- = \exp(j\beta z)$ (β – продольное волновое число).

Можно показать, что, рассматривая распространение лишь прямой волны в соответствующей направляющей структуре, система (3) преобразуется к неоднородному уравнению типа Гельмгольца относительно функции $\psi = T_H + j\xi T_E$:

$$\Delta_t \psi + \mathcal{Q}_i^2 \psi = j(-\tilde{a}\xi^2 - \tilde{b}\xi + \tilde{c})T_H, \quad (5)$$

где $\mathcal{Q}_i^2 = \mu_z K_f^2 - \xi_i \mu_z K_f / y_f \beta \quad k / \mu - \frac{\mu_z}{\mu} \beta^2$;

$$\tilde{a} = \mu_z K_f / y_f \beta \quad k / \mu; \quad \tilde{b} = K_f^2 (\mu_{eff} - \mu_z) - \beta^2 \left(1 - \frac{\mu_z}{\mu} \right); \quad \tilde{c} = \varepsilon_z K_f y_f \beta \quad k / \mu.$$

И если ξ удовлетворяет уравнению

$$-\tilde{a}\xi^2 - \tilde{b}\xi + \tilde{c} = 0, \quad (6)$$

то (5) преобразуется в однородное дифференциальное уравнение Гельмгольца:

$$\Delta_t \psi + \mathcal{Q}^2 \psi = 0. \quad (7)$$

Использованный прием называется методом укорочения исходного дифференциального уравнения. Подставляя корни (ξ_1 и ξ_2) уравнения (6) в выражения (5) получаем два значения \mathcal{Q}_1^2 и \mathcal{Q}_2^2 , которым соответствуют два различных решения ψ_1 и ψ_2 уравнения (5), через которые, в свою очередь, рассчитываются постоянные разделения:

$$T_H^+ = \frac{\xi_2 \psi_1 - \xi_1 \psi_2}{\xi_2 - \xi_1}; \quad T_E^+ = j \frac{\psi_1 - \psi_2}{\xi_2 - \xi_1}. \quad (8)$$

Применение данного подхода в рассматриваемой краевой задаче оправдано в силу продольной однородности резонатора. Отсутствие неоднородностей в направлении оси Oz приводит к линейной независимости решений для прямой и обратных волн, образующих в результате суперпозиции стоячую волну в резонаторе. При этом из выражений (5) не сложно видеть, что $T_E^- = -T_E^+$, а $T_H^- = T_H^+$. Необходимо отметить, что приведенные математические выкладки для метода укорочения справедливы для резонансных структур произвольной формы поперечного сечения и полным заполнением гиротропной средой по высоте.

3. Расчет резонансных частот собственных колебаний круглого экранированного однородного ферритового резонатора

Применим разработанный метод к решению краевой задачи о круглом экранированном однородном ферритовом резонаторе (рис. 1). При этом для продольных компонент электромагнитного поля должны выполняться следующие граничные условия:

$$H_z \Big|_{z=0(h)} = 0; \quad \frac{\partial E_z}{\partial z} \Big|_{z=0(h)} = 0. \quad (9)$$

Тогда решение дифференциального уравнения (7) в цилиндрической системе координат

нат (r, φ, z) с учетом ограниченности поля при $r = 0$ и соотношений (8) приводит к следующим компактным выражениям для продольных компонент электромагнитного поля:

$$\begin{aligned} E_z^{nm} &= \sum_{i=1}^2 A_i \frac{(-1)^i J_n(\vartheta_i r)}{\xi_2 - \xi_1 J_n(\vartheta_i a)} \cos(\beta_m z) e^{jn\varphi}; \\ H_z^{nm} &= \sum_{i=1}^2 A_i \frac{(-1)^{i+1} \xi_{3-i} J_n(\vartheta_i r)}{\xi_2 - \xi_1 J_n(\vartheta_i a)} \sin(\beta_m z) e^{jn\varphi}; \end{aligned} \quad (10)$$

где $m = 0, 1, 2 \dots$ – продольный индекс собственных колебаний; $\beta_m = \frac{\pi m}{h}$;

$n = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$ – азимутальный индекс собственных колебаний;

$J_n(\vartheta_i r)$ - функция Бесселя порядка n ;

A_1, A_2 - неизвестные амплитудные коэффициенты линейно независимых решений.

Разрешая систему (5) относительно поперечных компонент электрического поля, получаем:

$$E_\varphi^{nm} = j \sum_{i=1}^2 A_i \frac{(-1)^i \vartheta_i}{\xi_2 - \xi_1} \left\{ Q_i \frac{J'_n(\vartheta_i r)}{J_n(\vartheta_i a)} - P_i \frac{n}{\vartheta_i r} \frac{J_n(\vartheta_i r)}{J_n(\vartheta_i a)} \right\} \sin(\beta_m z) e^{jn\varphi}, \quad (11)$$

$$\text{где } P_i = \frac{p \beta_m - \xi_{3-i} K_f / y_f [q \mu - p k]}{p^2 - q^2}, \quad Q_i = \frac{q \beta_m - \xi_{3-i} K_f / y_f [p \mu - q k]}{p^2 - q^2},$$

$$p = K_f^2 \mu - \beta_m^2; \quad q = K_f^2 k.$$

$J'_n(\vartheta_i r)$ - производная функции Бесселя порядка n по всему аргументу.

Таким образом, решение рассматриваемой краевой задачи на системе дифференциальных уравнений (3) с граничными условиями (9) представляет собой линейную комбинацию двух колебаний с одинаковой гармонической зависимостью от продольной координаты и различным характером зависимости от поперечной координаты r , математически выраженном в разных поперечных постоянных ϑ_1 и ϑ_2 . Накладывая дополнительные граничные условия равенства тангенциальных компонент электрического поля на идеально проводящей боковой поверхности резонатора, приходим к системе двух линейных уравнений относительно неизвестных коэффициентов A_1 и A_2 . Характеристическое уравнение резонансных частот собственных колебаний резонатора получается из условия нетривиальности решения полученной системы в виде равенства нулю её главного определителя и записывается в виде:

$$\frac{1}{\xi_2 - \xi_1} \left[\vartheta_1 Q_1 \frac{J'_n(\vartheta_1 a)}{J_n(\vartheta_1 a)} - \vartheta_2 Q_2 \frac{J'_n(\vartheta_2 a)}{J_n(\vartheta_2 a)} + \frac{n}{a} (P_2 - P_1) \right] = 0. \quad (12)$$

Результаты расчета приведены на рис. 2 в виде зависимости нормированной резонансной частоты от модуля коэффициента невязности $|k/\mu|$ для нескольких низших типов колебаний ($G_{n/m}^{+(-)}$). Классификация собственных колебаний резонатора проводилась на основе предельного перехода к однородному диэлектрическому резонатору при $|k| \rightarrow 0$. Первая буква в названии типа колебания подчеркивает гибридный характер структуры поля, вторая определяет модовое распределение при $k=0$.

Согласно (9) и (10) угловая зависимость полей в резонаторе имеет вид $e^{\pm in\varphi}$. Значениям $\pm n$ при $k > 0$ соответствуют два независимых решения краевой задачи, описывающие гибридные волны с правым и левым вращением плоскости поляризации, соответственно. Поскольку направление вращения плоскости поляризации привязано к направлению оси Oz , то при изменении направления подмагничивания на противоположное, что приводит к изменению знака параметра k , при $n=1$ возбуждаются колебания с левой поляризацией. Поэтому в

обозначении типа колебаний вводится знаки: “+” – если направление вращения плоскости поляризации правое (по часовой стрелке, если смотреть вдоль оси Oz) и “-” при левом вращении плоскости поляризации (против часовой стрелки).

Индексное обозначение резонансных колебаний определяется тремя целыми числами: азимутальным индексом $|n|$, порядковым номером l корня характеристического уравнения (12) соответствующего типа колебания при фиксированных n и m , и продольным индексом колебания m .

Анализ графиков рис. 2 позволяет сделать вывод о том, что наименьшей резонансной частотой характеризуются колебания $EH_{1/0,11}^{+/-}$ -типа. Поэтому большинство развязывающих ферритовых устройств работает именно на этом низшем типе колебаний. Наибольшее расщепление частот колебаний с правым и левым вращением плоскости поляризации наблюдается для $HE_{111}^{+(-)}$ -колебаний. При реализации работы развязывающих ферритовых устройств на этом типе колебаний потенциально может быть достигнута более широкая полоса рабочих частот. Колебания $EH_{211}^{+/-}$ -типа с азимутальным индексом $|n|=2$, характеризуясь также значительной величиной частотной расстройкой, занимают среднее положение на оси резонансных частот. Очевидно, что реализация работы циркуляторов на этом типе колебаний потенциально проще с точки зрения способа селективного возбуждения и подавления нежелательных низших типов, чем для $HE_{111}^{+(-)}$ -колебаний.

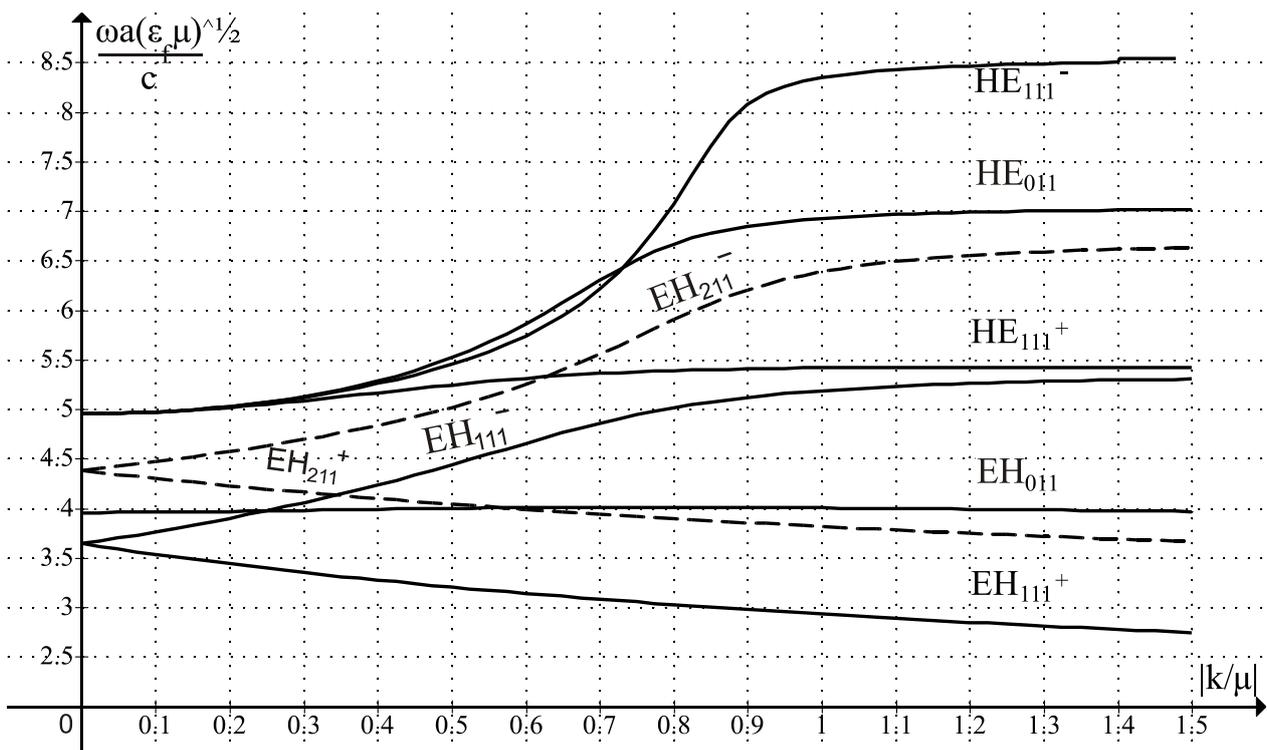


Рис. 2. Резонансные частоты собственных колебаний круглого закрытого однородного ферритового резонатора с параметрами $h = 10$ мм, $a = h$, $\mu = \mu_z = 1$

Заключение

Проведенная адаптация разработанного ранее для направляющих гиротропных структур так называемого метода укорочения исходного дифференциального уравнения к решению краевых задач о продольно однородных резонансных структурах позволила провести расчет спектра резонансных частот собственных колебаний круглого экранированного однородного ферритового резонатора. Описанная методика анализа продольно регулярных резо-

нансных структур открывает пути к строгому электродинамическому анализу новых типов ферритовых устройств различного функционального назначения.

Библиографический список

1. **Виприцкий, Д.Д.** Спектр волн круглого волновода с аксиальным продольно-намагниченным ферритовым стержнем / Д.Д. Виприцкий, А.В. Назаров, С.Б. Раевский // Антенны. 2005. Вып. 5 (96). С. 24–28.
2. **Микаэлян, А.Л.** Теория и применение ферритов на сверхвысоких частотах / А.Л. Микаэлян. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 664 с.
3. **Kales, M. L.** Modes in waveguides containing ferrites // J. Appl. Phys. V. 24. May 1953. P. 604–608.

Дата поступления
в редакцию 20.11.2014

Е.А. Mihalitsyn¹, Т.В. Kozhevnikova²

THE ADAPTATION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS CONTRACTION METHOD TO SOLVING BOUNDARY VALUE PROBLEMS ABOUT SHIELDED CIRCULAR HOMOGENEOUS FERRITE LOADED CAVITY

Federal State Owned Unitary Enterprise Federal Research and Production Center¹,
“Measuring system research institute named after Yu.Ye. Sedakov”,
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev²

Purpose: To adapt the differential equations contraction method to find the ferrite loaded cavities eigenvalue frequencies.

Design/methodology/approach: The ferrite medium analysis is based on the Maxwell equations transformation to the reduced homogeneous Helmholtz differential equation. The boundary value problem about shielded circular homogeneous ferrite loaded resonator is solved by an accurate way.

Findings The resonant frequencies of shielded circular homogeneous axial magnetized ferrite resonator are calculated. Moreover, the present study provides the recommendations of practice implementation of the ferrite resonator analyses results.

Research limitations/implications: The adapted contraction method of initial differential equations provides a starting point for further studies of open and shielded ferrite contained resonators.

Originality/value The present study provides the base information to concern resonant frequencies spectrum of the shielded circular homogeneous ferrite resonator for specialists and engineers.

Key words: ferrite resonator, the differential equations contraction method.

УДК 621.372.8

А.Е. Львов, Л.Г. Рудоясова, Г.И. Шишков, В.В. Щербаков

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОЛОСКОВЫЕ АТТЕНЮАТОРЫ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Нижегородский научно-исследовательский приборостроительный институт «Кварц»
им. А.П. Горшкова

Описан принцип действия аттенюаторов на полосковых линиях, показана зависимость коэффициента отражения от параметров аттенюаторов, даны технические характеристики аттенюаторов.

Ключевые слова: полосковые линии, тонкие резистивные пленки, пластинчатый резистор, ослабление, коэффициент отражения.

Введение

Использование тонких (меньше толщины скин-слоя) резистивных пленок в качестве элементов, поглощающих электромагнитную энергию в волноведущих трактах, известно уже достаточно давно [1].

Применение тонких резистивных пленок на плоских диэлектрических основаниях (пластинчатых резисторах), начиная с 1960 года в СССР и позднее за рубежом, в круглых и эллиптических волноводах, явилось прорывом в создании наиболее распространенных устройств СВЧ и КВЧ – широкополосных коаксиальных аттенюаторов, обладающих равномерной амплитудно-частотной характеристикой и высокой степенью согласования с внешними коаксиальными трактами. Такие аттенюаторы работают в диапазоне от постоянного тока до частот, близких к критическим для используемой коаксиальной линии [2].

Волны, распространяющиеся в направляющих структурах (круглых, эллиптических, прямоугольных волноводах) с резистивными пленками, обладают специфическими особенностями: в большинстве случаев у них отсутствуют критические частоты или проявляются они (критические частоты) особым образом, не разделяя области распространяющихся и запредельных волн. При увеличении частоты ($\omega \rightarrow \infty$) у всех типов волн постоянная затухания стремится к нулю, что объясняется увеличением экранирующего действия резистивных пленок, при котором происходит оттеснение от них электрического поля.

Поведение дисперсионных характеристик собственных волн определяется величиной поверхностного сопротивления пленки, параметрами диэлектрического заполнения волновода, характером напыления резистивной пленки [3]. Исследованию поведения дисперсионных характеристик собственных волн в волноводах с тонкими резистивными пленками посвящено достаточно много работ, среди которых [4–11].

В 60-х годах прошлого столетия в Горьковском НИПИ (далее Нижегородском НИПИ «Кварц») была предложена конструкция фиксированного аттенюатора на полосковой линии [12]. Аттенюатор выполнен на основе несимметричной полосковой линии, в разрыв центрального проводника которой включен пластинчатый резистор, имеющий гальванический контакт с центральным проводником и основанием линии. Чаще всего в качестве основания и экрана линии применяются прямоугольные волноводы (рис. 1, а).

Разновидностью полоскового аттенюатора [12] является аттенюатор, предложенный в [13], где пластинчатый резистор размещен вертикально в щели основания линии.

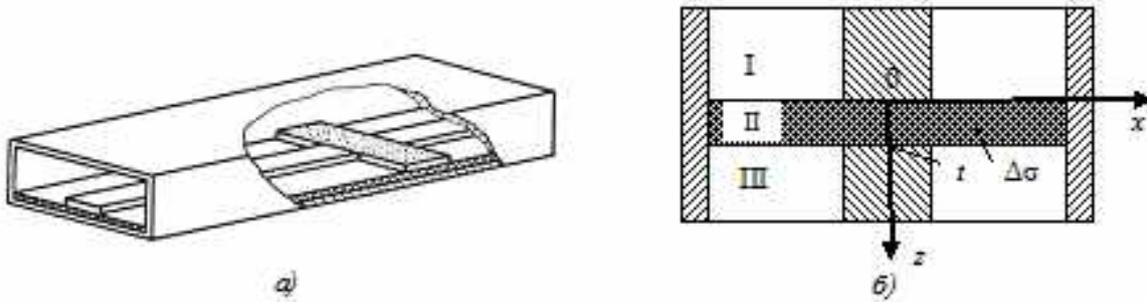


Рис. 1. Схематичное изображение аттенюатора на полосковой линии

Важнейшими техническими характеристиками аттенюаторов являются: величина и равномерность вносимого ими ослабления в диапазоне частот, а также степень согласования с волноведущими трактами.

1. Дисперсионные характеристики волн двухслойного прямоугольного волновода с резистивной пленкой между слоями

Базовыми электродинамическими структурами для аттенюаторов на полосковых линиях являются экранированная полосковая линия и двухслойный прямоугольный волновод с резистивной пленкой между слоями (рис. 2, а, б).

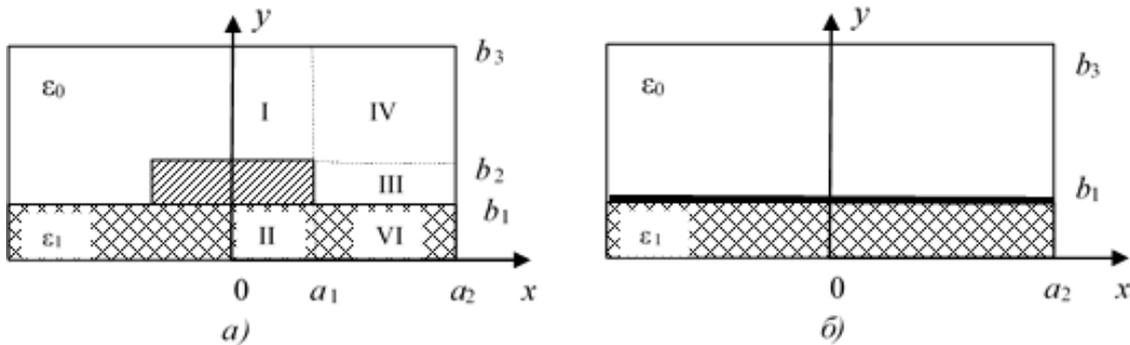


Рис. 2. Поперечные сечения экранированной полосковой линии (а) и двухслойного прямоугольного волновода с резистивной пленкой (б)

Рассмотрим прямоугольный волновод с тонкой резистивной пленкой (рис. 2, б), имеющей поверхностную плотность $\Delta\sigma$, где Δ и σ – толщина и проводимость резистивной пленки.

Из-за наличия в пленке как продольных, так и поперечных токов поле в волноводе в общем случае является гибридным.

При решении дифракционной задачи поле в волноводе с пленкой представим в виде набора гибридных волн. Запишем продольные компоненты обоих векторов Герца в выделенных областях:

в области I:

$$\begin{aligned} \Pi_{z1}^e &= A_1 \cdot \sin k_x(x - a_2) \cdot \sin k_{y1}y \cdot e^{-i\beta z}, \\ \Pi_{z1}^m &= B_1 \cdot \cos k_x(x - a_2) \cdot \cos k_{y1}y \cdot e^{-i\beta z}; \end{aligned} \tag{1}$$

в области II:

$$\begin{aligned} \Pi_{z2}^e &= A_2 \cdot \sin k_x(x - a_2) \cdot \sin k_{y2}(y - b_3) \cdot e^{-i\beta z}, \\ \Pi_{z2}^m &= B_2 \cdot \cos k_x(x - a_2) \cdot \cos k_{y2}(y - b_3) \cdot e^{-i\beta z}, \end{aligned} \tag{2}$$

где $k_x = n\pi/2a_2$, $k_{y1} = \sqrt{\varepsilon_1\mu_1\omega^2 - k_x^2 - \beta^2}$, $k_{y2} = \sqrt{\varepsilon_0\mu_0\omega^2 - k_x^2 - \beta^2}$, $\beta = \beta_1 + i\beta_2$ – продольное волновое число.

В соответствии с методом поверхностного тока [14] граничные условия в плоскости пленки при $y=b_1$ записываются в виде:

$$E_{x1}=E_{x2}, \quad E_{z1}=E_{z2}, \quad H_{x2}-H_{x1}=j_{\text{зпов}}, \quad H_{z2}-H_{z1}=-j_{\text{зпов}}, \quad (3)$$

где $j_{\text{зпов}}=\Delta\sigma E_{z2}$, $j_{\text{хпов}}=\Delta\sigma E_{x2}$, σ – удельная проводимость пленки, Δ – ее толщина.

Выражая компоненты поля через вектора Герца (1, 2) и подставляя их в граничные условия (3), получаем систему четырех алгебраических уравнений относительно неизвестных амплитудных коэффициентов A_1, A_2, B_1, B_2 . Понижая ее порядок, приходим к системе двух линейных алгебраических уравнений относительно A_1, A_2 . Записывая условие нетривильности решений системы, получаем дисперсионное уравнение двухслойного прямоугольного волновода с резистивной пленкой между слоями.

Результаты решения дисперсионного уравнения для параметров $b_1/b_3=0,3$, $a_2/b_3=0,8$ представлены на рис. 3 в виде фазовых характеристик $\tilde{\beta}_1 = \beta_1/k_0$, где $k_0=2\pi b_3/\lambda$, и характеристик затухания $\beta_2 b_3$ [8].

Рассматриваемая гибридная волна в двухслойном волноводе без пленки соответствует волне LE_{11} , поэтому и гибридную волну в волноводе с пленкой можно классифицировать как LE_{11} . В отличие от обычных волноводов с потерями в стенках, дисперсионные характеристики волны в волноводе с резистивной пленкой имеют плавный характер. При переходе через частоту, соответствующую критической для волновода без резистивной пленки, отсутствует скачок дисперсионных характеристик.

На рис. 3 показаны зависимости фазовых характеристики и характеристик затухания от величины проводимости пленки при диэлектрической проницаемости подложки $\varepsilon=2$.

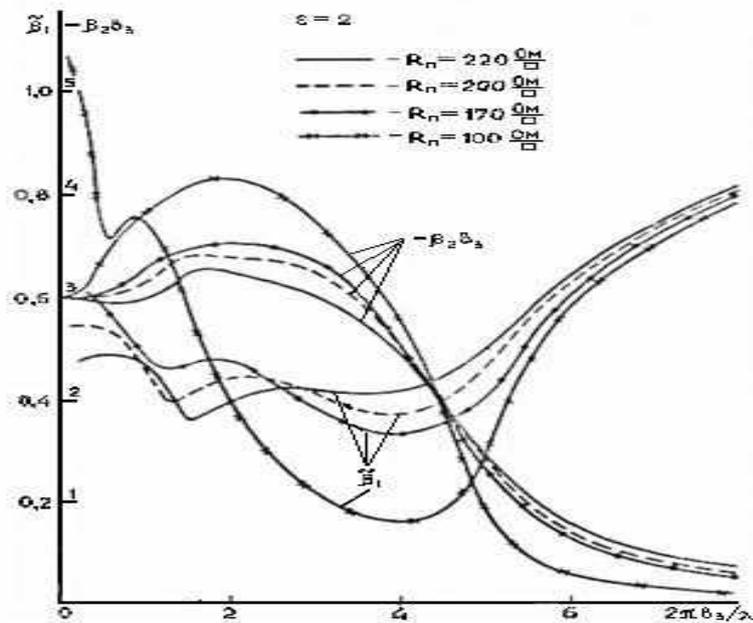


Рис. 3. Зависимость фазовых характеристик и характеристик затухания от величины удельного поверхностного сопротивления пленки

Наибольший интерес при создании аттенуаторов представляет зависимость постоянной затухания от частоты. У волны LE_{11} она имеет два характерных участка. В пределах значений $2\pi b_3/\lambda$ от нуля до 3,5 участок кривой относительно пологий, далее начинается резкое

уменьшение затухания, связанное с концентрацией поля в диэлектрике. При $2\pi b_3/\lambda \approx 4$ кривые с разными удельными поверхностными сопротивлениями пленки R_{Π} ($R_{\Pi}=1/\Delta\sigma$) пересекаются. До этой точки большее затухание наблюдается у волн в волноводе с пленкой, имеющей $R_{\Pi}=100$ Ом/□. На более высоких частотах затухание больше в волноводе с пленкой меньшей проводимости. Это можно объяснить тем, что на высоких частотах у рассматриваемой волны продольные токи начинают преобладать над поперечными, и в эквивалентной электрической схеме направляющей системы резистивную пленку можно рассматривать как последовательно включенное сопротивление.

Из приведенных графиков видно, что можно подобрать такое R_{Π} пленки, при котором постоянная затухания практически будет мало зависеть от частоты в достаточно широкой полосе частот.

Расчеты, проведенные при различных значениях диэлектрической проницаемости подложки (при удельном поверхностном сопротивлении пленки ($R_{\Pi}=200$ Ом/□), показали, что величина диэлектрической проницаемости подложки влияет на характеристики затухания лишь на высоких частотах ($2\pi b_3/\lambda \approx 7$).

2. Коэффициент отражения полоскового аттенюатора

В качестве возбуждающего устройства (электрода) полоскового аттенюатора используется центральный проводник полосковой линии. Высокую степень согласования (наличие минимального коэффициента отражения) на входе аттенюатора можно расценивать как максимальное возбуждение поля в поглощающей структуре аттенюатора.

Для расчета коэффициента отражения полоскового аттенюатора необходима постановка дифракционной задачи о согласовании полосковой линии с двухслойным волноводом (положение $z=0$, рис. 1). Для этого необходимо знание спектров собственных волн полосковой линии и волновода с тонкой резистивной пленкой на диэлектрическом основании. Эта задача была решена в НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

Результаты расчета приведены на рис. 4, где показана зависимость коэффициента отражения стыка экранированной полосковой линии с поглощающей структурой аттенюатора при различных параметрах резистивной пленки и возбуждающего устройства. Из рис. 4, *a* видно, что частотные зависимости коэффициента отражения в значительной степени определяются шириной возбуждающего электрода (центрального проводника стыкуемой полосковой линии). Выбором ее можно получить достаточно хорошее согласование в широкой полосе частот.

Так, при удельном поверхностном сопротивлении пленки $R_{\Pi}=200$ Ом/□, параметрах $b_1/b_3=0,2$, $b_2/b_3=0,21$, $\varepsilon \approx 10$ (для поликора $\varepsilon=9,6$) наилучшее согласование получается при соотношении $a_1/b_3=0,6$. При $R_{\Pi}=100$ Ом/□ (остальные параметры остаются прежними) высокая степень согласования выполняется при $a_1/b_3=0,6$ (рис. 4, *b*).

На величину коэффициента отражения рассматриваемого стыка влияет толщина возбуждающего электрода. Как показали расчеты (рис. 3, *a*), согласование улучшается при уменьшении толщины электрода.

В значительной мере частотная зависимость коэффициента отражения определяется величиной удельного поверхностного сопротивления резистивной пленки. Так, переход от $R_{\Pi}=200$ Ом/□ к $R_{\Pi}=100$ Ом/□ приводит к значительному общему уменьшению величины коэффициента отражения и к улучшению равномерности согласования в полосе частот.

Проведенные в НИПИ «Кварц» экспериментальные исследования показали, что для обеспечения наилучшего согласования стыка экранированной полосковой линии с двухслойным прямоугольным волноводом с резистивной пленкой между слоями величина удельного поверхностного сопротивления резистивной пленки должна быть в пределах $(90 \div 110)$ Ом/□.

Экспериментальные исследования показали, что согласование рассматриваемой структуры улучшается с уменьшением толщины центрального проводника стыкуемой полосковой линии. Наилучшее согласование достигается при соотношении $(b_2 - b_1)/b_3 \approx 0,03$, ширине возбуждающего электрода (полоска линии) $2a_1/b_3 \approx 1,0$ и величине $R_n = 100 \text{ Ом}/\square$, что согласуется с теоретическими данными.

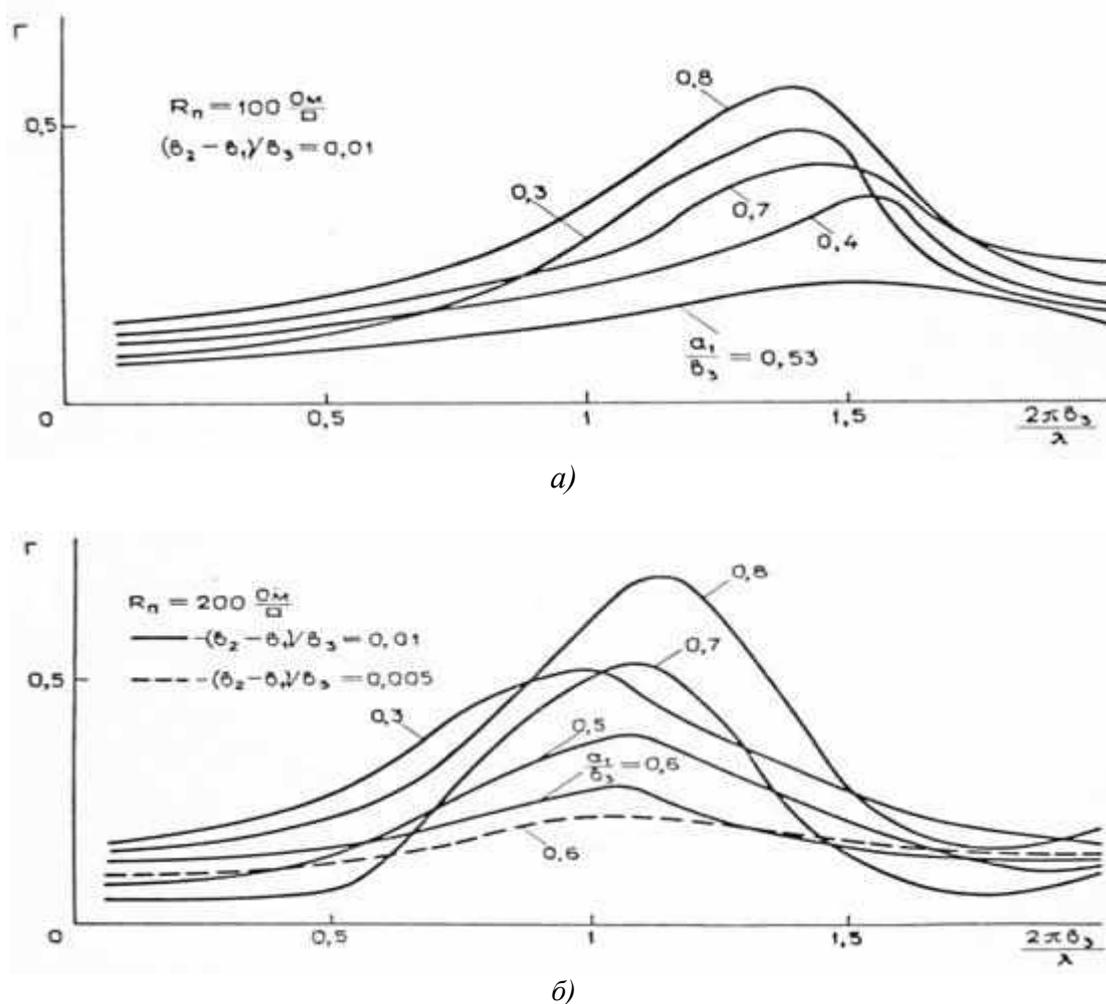


Рис. 4. Результаты решения дифракционной задачи при различных параметрах резистивной пленки и возбуждающего устройства

3. Технические характеристики аттенюаторов на полосковых линиях передач

Полосковые аттенюаторы используются в виде самостоятельных устройств совместно с коаксиально-полосковыми переходами в коаксиальных линиях передачи, применяются как ячейки-ослабители в коаксиальных ступенчатых аттенюаторах [15]. Ступенчатые аттенюаторы модели 1068 [16] имеют ослабление 0-110 дБ ступенями 10 дБ с начальными потерями 2,8 дБ в диапазоне от постоянного тока до 18 ГГц, величину КСВН не более 1,8, входную мощность 0,2 Вт, габаритные размеры 138×55×26 мм, коаксиальные разъемы сечением 3,5/1,52 мм.

Аттенюаторы модели 1048 имеют ослабление 0-35 дБ ступенями 5 дБ с начальными потерями 3 дБ в диапазоне от нуля 37,5 ГГц, величину КСВН не более 1,8 в диапазоне до 26,5 ГГц и не более 2,2 в диапазоне до 37,5 ГГц, входную мощность 0,2 Вт, габаритные размеры 110×56×26 мм, коаксиальные разъемы сечением 2,4/1,04 мм.

Аттенюаторы имеют электромеханическое устройство переключения ослабления.

Практически одновременно шли разработки фиксированных аттенюаторов на микрополосковых линиях передачи СВЧ- и КВЧ- диапазонов [17].

Один из первых микрополосковых фиксированных аттенюаторов, разработанных в НИИПИ «Кварц», имел ослабления 3,6,10, и 20 дБ с погрешностью по ослаблению $\pm 0,5$ дБ и величину КСВН не более 1,4 в диапазоне от постоянного тока до 12 ГГц. В диапазоне до 26 ГГц величина КСВН не более 1,8, погрешность по ослаблению увеличивается и для аттенюаторов с ослаблением 20 дБ достигает 2-4 дБ. Аттенюаторы имели встроенные коаксиально-полосковые переходы на коаксиальные разъемы сечением 3,5/1,52 мм.

Широкое применение микрополосковые аттенюаторы нашли в составе СВЧ- и КВЧ- гибридных интегральных схем для развязки и согласования различных полосковых устройств (смесителей частоты, усилителей, генераторных головок, разветвителей мощности и т.д.).

Библиографический список

1. **Слущкая, В.В.** Тонкие пленки в технике СВЧ / В.В. Слущкая. – М.: Сов. радио, 1967. – 456 с.
2. **Шишков, Г.И.** Широкополосные коаксиальные аттенюаторы / Г.И. Шишков // Антенны. 2004. Вып. 1(80). С. 18–21.
3. **Раевский, С.Б.** Особенности волн в направляющих структурах с резистивными пленками / С.Б. Раевский, А.Ю. Седаков, Г.И. Шишков // Физика и технические приложения волновых процессов: материалы XI международной научно-технической конференции. – Екатеринбург, 2012. С. 199.
4. **Калмык, В.А.** Прямоугольный волновод, перегороденный резистивной пленкой / В.А. Калмык, С.Б. Раевский // Радиотехника и электроника. 1975. Т. 20. № 10. С. 2185–2186.
5. **Калмык, В.А.** Дисперсионные свойства прямоугольного волновода, перегороденного резистивной пленкой / В.А. Калмык, С.А. Маркова, С.Б. Раевский // Радиотехника и электроника. 1976. Т. 21. № 9. С. 1978–1980.
6. **Калмык, В.А.** Некоторые особенности распространения волн в волноводах с резистивной пленкой / В.А. Калмык, Г.В. Павловская, С.Б. Раевский // Изв. вузов СССР. Сер. Радиофизика. 1977. Т. 20. № 4. С. 585–589.
7. **Шишков, Г.И.** О применении круглого волновода с резистивными пленками на диэлектрической подложке в СВЧ аттенюаторах // Техника средств связи. Сер. РИТ. 1982. Вып. 6. С. 46–53.
8. **Рудоясова, Л.Г.** Двухслойный прямоугольный волновод с резистивной пленкой / Л.Г. Рудоясова, Г.И. Шишков // Техника средств связи. Сер. РИТ. 1983. Вып. 1. С. 43–46.
9. **Калмык, В.А.** Фазовые распределения полей в волноводах с резистивной пленкой / В.А. Калмык, Т.В. Кожевникова, С.Б. Раевский // Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. 1988. Т. 31. № 7. С. 25–30.
10. **Калмык, В.А.** Прямоугольный волновод с анизотропной резистивной пленкой / В.А. Калмык, С.Б. Раевский, Г.И. Шишков // Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. 1989. Т. 32. № 7. С. 78–79.
11. **Иванов, А.Е.** Расчет волнопроводов с резистивными пленками для тонкопленочных СВЧ аттенюаторов / А.Е. Иванов, Г.И. Шишков // Вестник Верхневолжского отделения Академии технологических наук РФ. Сер. Высокие технологии в радиоэлектронике. 1997. Вып. 1. С. 86–90.
12. А.С. 240789 СССР. Фиксированный аттенюатор / Г.И. Шишков, В.М. Бунтилов // Б.И. 1969. № 13.
13. А.С. 866617 СССР. Фиксированный аттенюатор / Г.И. Шишков, В.М. Бунтилов, Ю.А. Горячев // Б.И. 1981. № 35.
14. **Раевский, С.Б.** К теории двухслойных волнопроводов с резистивной пленкой между слоями / С.Б. Раевский // Изв. вузов СССР. Сер. Радиофизика. 1974. Т. 17. № 11. С. 1703–1706.

15. **Шишков, Г.И.** Широкополосные ступенчатые аттенюаторы // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород. 2011. № 2 (87). С. 11–19.
16. Коаксиальные, волноводные и оптические устройства / Каталог. Нижегородский НИПИ «Кварц». – Нижний Новгород, 2014.
17. **Шишков, Г.И.** Исследование аттенюаторов на полосковых линиях, используемых в автоматизированных измерительных приборах / Г.И. Шишков, О.И. Раевская, Ю.А. Горячев // Техника средств связи. Сер. РИТ. 1981. Вып. 4. С. 72–74.

*Дата поступления
в редакцию 20.11.2014*

A.E. Lvov, L.G. Rudoyasova G.I. Shishkov, V.V. Sherbakov

THIN-FILM STRIP ATTENUATORS

Nizhegorodskiy state technical university n.a. R.E. Alexeev,
Nizhegorodskiy research instrumentrack institute "Quartz" im. A.P. Gorshkova

Purpose: It is described principle of the action attenuator on strip line, is shown dependency of the factor of the reflection from parameter attenuator, are given technical features attenuator.

Design/methodology/approach: The Basic researches round, strip and microstrip line with resistive films, were conducted on base of the method of the partial areas with use the method of the surface current.

Findings: The Attenuators on strip and microstrip line has found broad using in composition SVH and KVH hybrid integral schemes for uncoupling and coordinations different strip device (the amplifiers, source of the heads, mixers, divisors to powers and etc), as well as in the manner of separate fixed and discrete attenuator in broadband system for measurement frequency and pulsed features radiotechnology device.

Research limitations/implications: At calculation waveguides features of the considered structure was expected that fine consuming layer evenly portioned on surfaces of the substrate. However practically this far from is always executed. On degree of the uniformities of the sharing the film affects the technological process of the fixing layer and his tailorings, quality to surfaces of the substrate and other factors.

Originality/value: Stupenchatye attenuators to models 1068 have a weakening 0-110 db step 10 db with initial loss 2,8 db within the range of from direct current before 18 GGH, value KSVN not more than 1,8, coaxial connectors by section 3,5/1,52 mm. Attenuators to models 1048 have a weakening 0-35 db step 5 db with initial loss 3 db within the range of from zero 37,5 GGH, value KSVN not bolee 1,8 within the range of before 26,5 GGH and not more than 2,2 within the range of before 37,5 GGH, coaxial connectors by section 2,4/1,04 mm.

Within the range of from direct current before 12 GGH attenuators have small (the order 0,5дБ) frequency dependency weakenings under KSVN not more than 1,4; within the range of before 26 GGH frequency dependency it increases under KSVN not more than 1,8. For attenuator with weakening 20 db this dependency forms before 2-4 db aside weakenings.

Key words: strip lines, fine resistive of the film, lamellar resistor, weakening, factor of the reflection.

УДК 621.039

А.В. Варенцов, Д.Н. Солнцев, В.Д. Сорокин, М.А. Легчанов, А.Е. Хробостов**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАССООБМЕННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВС РЕАКТОРНЫХ
УСТАНОВОК КЛТ–40С И РИТМ–200**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Проведены экспериментальные исследования локального массообмена потока теплоносителя в модели ТВС активной зоны реактора КЛТ–40С. Выявлены особенности течения потока теплоносителя в ТВС КЛТ–40С и реакторов РИТМ–200.

Ключевые слова: атомные станции малой мощности, ядерный реактор, тепловыделяющая сборка, межъячеечный массообмен, дистанционирующая решетка.

Введение

В настоящее время одно из приоритетных направлений развития ядерной энергетики связано с разработкой атомных станций малой мощности. На базе опыта создания и совершенствования судовых реакторов в ОАО «ОКБМ Африкантов» разработан ряд проектов реакторных установок для энергоисточников малой мощности: КЛТ–40С и РИТМ–200.

В ОКБМ для КЛТ–40С разработана новая кассетная активная зона, состоящая из тепловыделяющих сборок (ТВС) с пластинчатыми дистанционирующими решетками (ДР). Данная конструкция должна отвечать всем требованиям к современному ядерному топливу, а именно: надежности, безопасности, экономичности и технологичности [1]. Для внедрения данной конструкции необходимо провести комплекс исследовательских работ по обоснованию теплотехнической надежности активной зоны ядерного реактора и определить влияние особенностей конструкции ТВС на гидродинамику потока теплоносителя [2]. Следовательно, экспериментальное исследование гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в пучках твэлов ТВС реакторов КЛТ–40С и РИТМ–200 при использовании дистанционирующих решеток является актуальной задачей.

С этой целью в научно–исследовательской лаборатории «Реакторная гидродинамика» НГТУ им. Р.Е. Алексеева проведен комплекс экспериментальных исследований локальной гидродинамики и межъячеечного массообмена теплоносителя на масштабной модели кассетной ТВС реакторов КЛТ–40С и РИТМ–200.

Экспериментальный стенд и методика проведения исследования

Экспериментальный стенд [3] для проведения исследований межъячеечного массообмена теплоносителя в ТВС реакторной установки КЛТ–40С и РИТМ–200 представляет собой аэродинамический разомкнутый контур, через который прокачивается воздух. Экспериментальная модель выполнена в полном геометрическом подобии натурной ТВС и состоит из шестигранного чехла, 78-ми твэл-имитаторов, шести имитаторов стержней с выгорающим поглотителем и трех поясов дистанционирующих решёток [4].

Для изучения межъячеечного массообмена потока теплоносителя на экспериментальном стенде применяется метод диффузии примесей. Данный метод основан на регистрации поперечного потока массы по некоторой переносимой субстанции. В качестве примеси выбран пропан, так как он обладает наиболее близкими к воздуху свойствами. Газ подается в характерную ячейку пучка твэлов, после чего отслеживается его распространение в поперечном сечении и по длине экспериментальной модели [5, 6, 7].

Методика проведения исследований заключалась в следующем:

- газовый трассер через впускной зонд подается в область стандартной ячейки № 86 и в три ячейки области вытеснителя № 63, 66, 131 (рис. 1–2) до пояса дистанционирующей решетки по ходу течения потока теплоносителя. С помощью отборного зонда производится замер концентрации трассера газоанализатором во всех ячейках за поясом ДР в характерных сечениях по длине ЭМ;
- по полученным данным строятся графики зависимости распределения концентрации трассера от относительной координаты и картограммы для характерных зон поперечного сечения ЭМ.

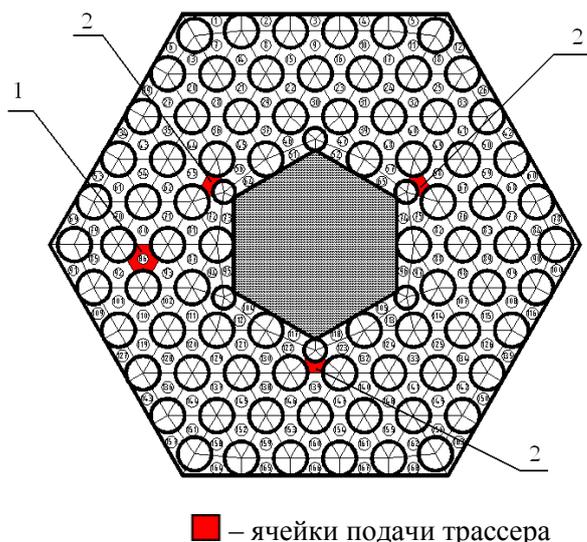


Рис. 1. Поперечное сечение экспериментальной модели:
1 – стандартная ячейка; 2 – ячейки зоны вытеснителя

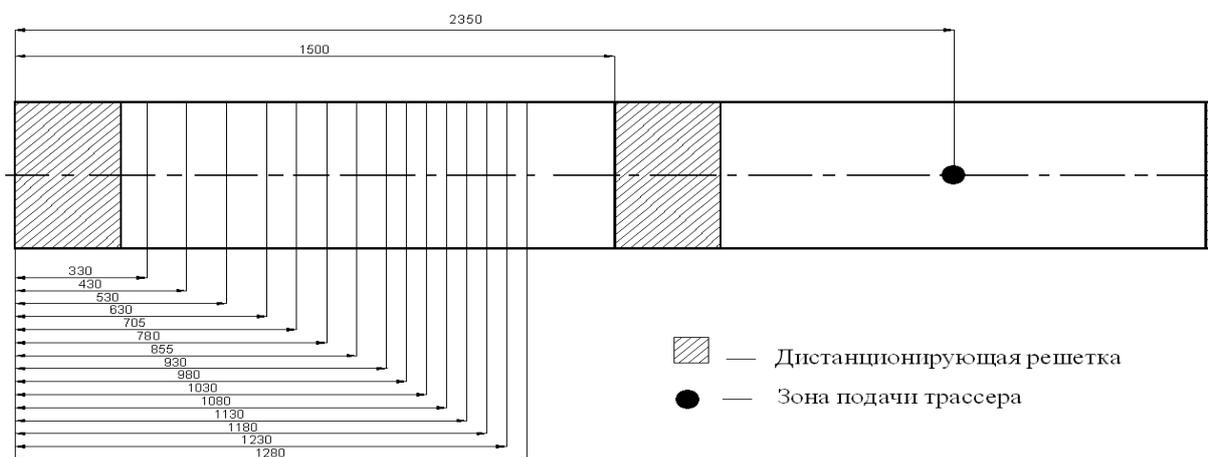


Рис. 2. Продольное сечение экспериментальной модели

Результаты исследований концентрации трассера за дистанционирующей решеткой

Анализ результатов распределения концентраций пропана в стандартной области и трех областей зон вытеснителя показал:

1. При подаче трассера в область стандартной ячейки №86 трассер под воздействием турбулентного массопереноса распространяется в соседние ячейки № 80, 92, 93, смешиваясь при этом с основным осевым потоком (рис. 3, а), и аналогично распространяется во второй ряд соседних ячеек.

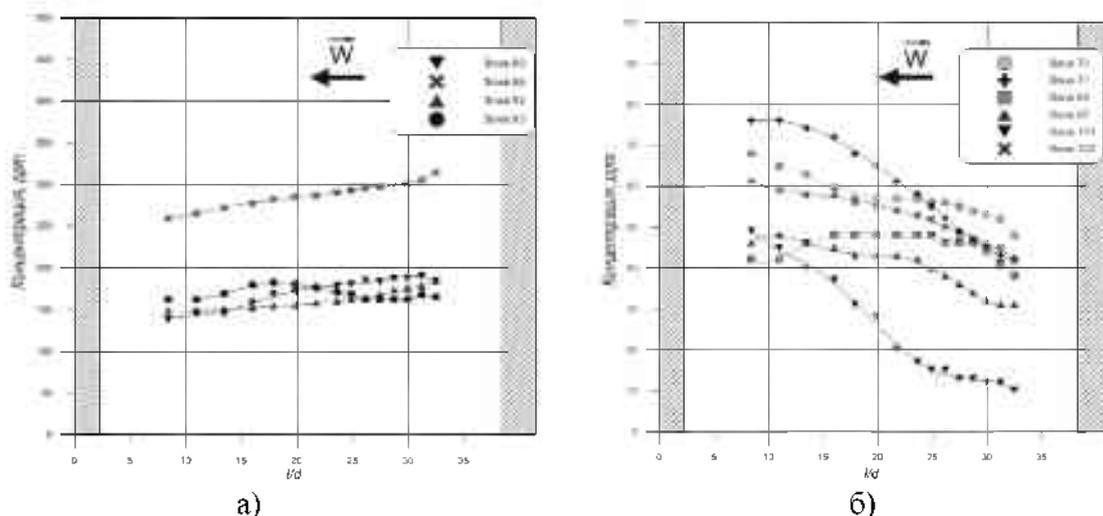


Рис. 3. Распределение концентрации трассера по длине экспериментальной модели за поясом дистанционирующей решетки для зон: *a* – № 86, 80, 92, 93; *б* – 70, 71, 85, 87, 101, 102 (среднерасходная скорость $\bar{w}=33,7$ м/с, $Re=88200$)

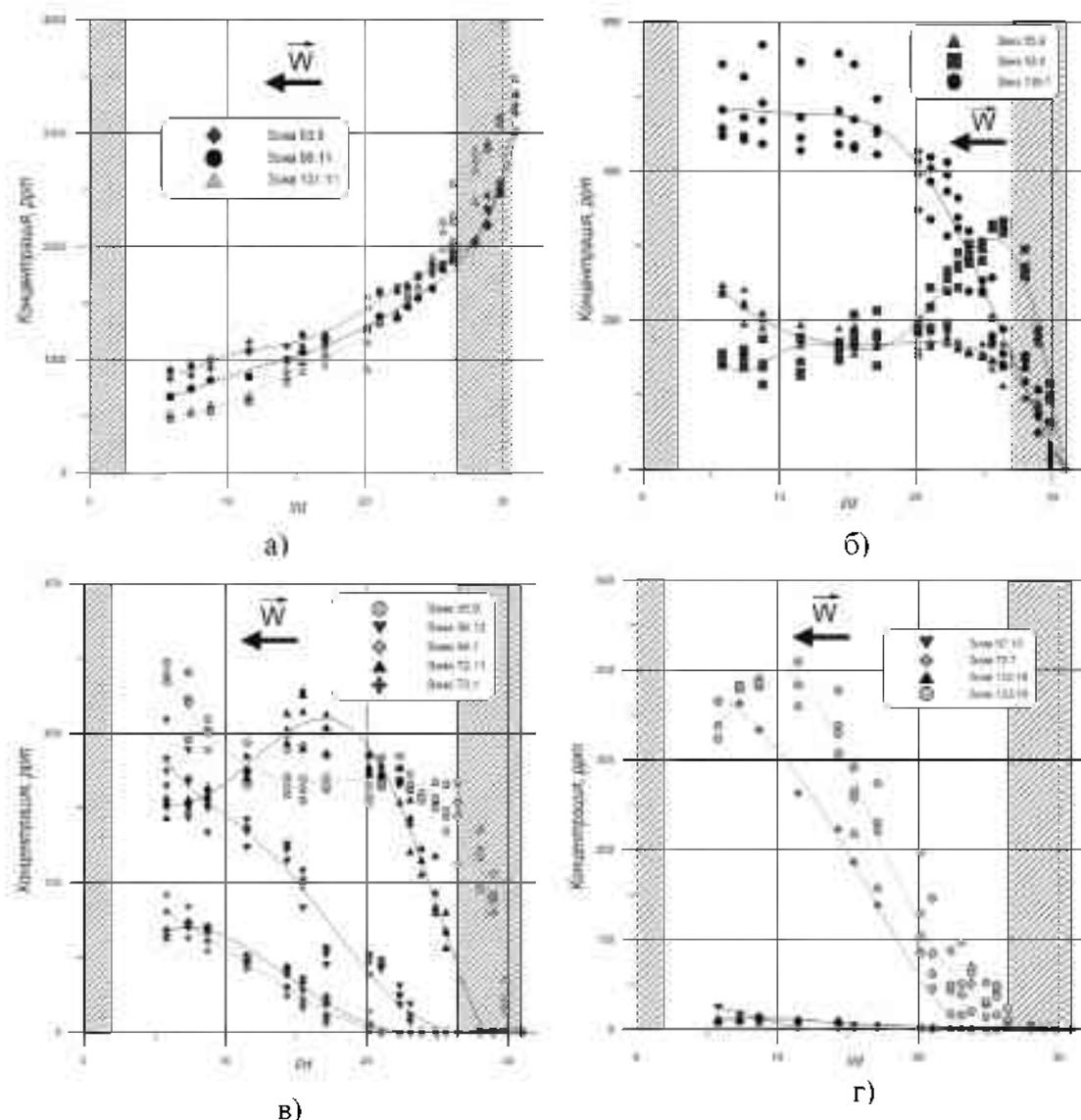


Рис. 4. Распределение концентрации трассера по длине ЭМ в ячейках подачи: *a* – № 63, 66, 131; *б* – №55,58,139; *в* – №№ 55, 56, 64, 72, 73; *г* – № 57, 75, 122, 123 (среднерасходная скорость $\bar{w}=35,6$ м/с, $Re=90640$)

2. При подаче трассера в область вытеснителя в ячейки № 63, 66, 131 (рис. 4, а) и его распространении по соседним ячейкам следует отметить, что концентрации в стандартных ячейках № 55, 58, 139 выше, чем в зоне нестандартных ячейках № 56, 72, 57, 75, 122 (рис. 4, б–г), а рост концентраций трассера в нестандартных ячейках наблюдается только за дистанционирующей решеткой. Это свидетельствует о наличии конвективных течений вследствие дополнительной турбулизации потока, вызванных пластинами ДР. Распределение концентрации трассера в зонах вытеснителя происходит не равномерно, при этом интенсивность и направление течений в смежные ячейки зависит от ширины межствольных зазоров и расположения пластин дистанционирующей решетки.

Выводы

1. Проведены экспериментальные исследования локального массообмена потока теплоносителя в модели ТВС активной зоны реактора КЛТ-40С. Выявлены особенности течения потока теплоносителя за дистанционирующей решеткой ТВС реактора КЛТ-40С.

2. Дистанционирующая решетка вносит незначительное возмущение в движение потока теплоносителя. С другой стороны такая дистанционирующая решетка имеет невысокое гидравлическое сопротивление.

3. Анализ распределения трассера по длине и поперечному сечению экспериментальной модели в характерных ячейках показал, что наличие пластин дистанционирующей решетки КЛТ 40С, РИТМ–200 приводит к дополнительной турбулизации потока, при этом интенсивность и направление течений зависит от ширины межствольных зазоров и расположения пластин дистанционирующей решетки, которые в неравной мере затесняют проходное сечение ячеек.

Полученные результаты могут быть использованы для верификации существующих расчётных кодов, предназначенных для проведения детального анализа теплогидравлических процессов в активных зонах водо-водяных ядерных реакторов.

Библиографический список

1. Основное оборудование АЭС с корпусными реакторами на тепловых нейтронах: учебник / С.М. Дмитриев [и др.]. – М.: Машиностроение, 2013. – 415 с.
2. К вопросу о методологии обоснования теплотехнической надежности активных зон водяных энергетических реакторов. / С.М. Дмитриев [и др.] // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2014. №2. С. 98–108.
3. Экспериментальные исследования гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВСА ВВЭР / С.М. Дмитриев [и др.] // Атомная энергия. 2012. Т. 113. № 5. С. 252–257.
4. Особенности локальной гидродинамики и массообмена теплоносителя в ТВС реакторов ВВЭР и PWR с перемешивающими решетками / С.М. Дмитриев [и др.] // Тепловые процессы в технике. 2013. Т. 5. № 3. С. 98–107.
5. Экспериментальные исследования локального массообмена и эффективности перемешивания теплоносителя дистанционирующими решетками в ТВС реактора КЛТ 40С / А.В. Варенцов [и др.] // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2012. №1. С. 107–113.
6. Экспериментальные исследования локальных гидродинамических характеристик потока в тепловыделяющих сборках реакторной установки плавучей атомной электростанции / А.В. Варенцов [и др.] // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2012. №3. С. 118–125.

7. Экспериментальные и расчетные исследования гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реактора КЛТ-40С. / А.В. Варенцов [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 114–119.

*Дата поступления
в редакцию 20.11.2014*

A.V. Varentsov, D.N. Solntsev, V.D. Sorokin, M.A. Legchanov, A.E. Khrobostov

**EXPERIMENTAL RESEARCHES OF MASS EXCHANGE OF HEAT-CARRIER FLOW
IN FUEL ASSEMBLIES OF THE KLT-40S AND RITM-200 REACTORS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The main aim of research was study mass exchange heat-carrier flow features in fuel assemblies of the KLT-40S and RITM-200 reactors.

Design/methodology/approach: The main method of hydrodynamics and mass transfer in the nuclear reactor FA investigation is an experimental research of a full-size cassette model and active zones of aero- and hydrodynamics stands. For the local characteristics of intercellular mass transfer and hydrodynamics of the heat carrier in the KLT-40S nuclear reactor FA research the gas diffusion method was used.

Findings: Experimental researches of heat carrier mass transfer in the nuclear reactor FA were organized. The heat carrier flow features in fuel assemblies of the KLT-40S and RITM-200 reactors were revealed.

Research limitations/implications: The special databank was created on the base of the experiment results. The data are used for verifying CFD-codes to reduce conservatism on esteeming the KLT-40S and RITM-200 reactors heat engineering reliability. The results of the research were accepted are now used by Joint Stock Company OKBM Afrikanov.

Originality/value: Topically of this article is in heat carrier mass transfer research in the nuclear reactor FA to physical laws. Therefore we can prove heat engineering reliability of the KLT-40S reactor active zone.

Key words: nuclear reactor, fuel assembly, mixing grid, floating low-power nuclear power plant.

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 629.113

Д.С. Тесленко, В.В. Беляков, В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕРРАМЕХАНИКИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Цель: Выполнить обзор использования метода конечных элементов для решения задач взаимодействия машины и местности (террамеханики).

Методология: Обзор и анализ информационных источников.

Результаты и область их применения: В данной статье рассмотрены методы моделирования взаимодействия колеса и грунта при помощи метода конечных элементов, приведён краткий обзор работ по данной теме. Настоящее исследование является отправной точкой для дальнейшего исследования террамеханики снега.

Выводы: Метод конечных элементов с успехом применяется в террамеханике. Для его использования с целью моделирования движения машины по снегу необходимо создать математические модели, адекватно описывающие механические характеристики снега. Полученные результаты можно будет использовать для проектирования более эффективных транспортных средств.

Ключевые слова: снег; взаимодействие колеса и грунта; модель грунта; метод конечных элементов.

Несмотря на постоянное улучшение качества дорожного покрытия и расширение дорожной сети, в настоящее время проблематика движения транспортных средств по бездорожью остаётся по-прежнему актуальной. Прежде всего это касается военной техники, автономных автоматических аппаратов для исследования других планет, а также сельскохозяйственных машин и вездеходов для освоения труднодоступных областей. С расширением географии добычи полезных ископаемых, в частности, нефти и газа в Сибири, последнее применение видится особенно важным для России. Именно поэтому в нашей стране проектированию машин высокой проходимости всегда уделялось значительное внимание.

Одна из локальных задач повышения проходимости транспортно-технологических машин – оптимизация взаимодействия движителя и корпуса машины с грунтом. Решением этой задачи занимается террамеханика (в отечественных публикациях вместо термина «террамеханическая система» используется «система машина-местность») [1]. Эта достаточно молодая прикладная наука развивается с начала XX века. В 1962 году на первой международной конференции по механике грунтов в Турине было основано Международное сообщество систем International Society for Terrain-Vehicle Systems (ISTVS) – зарегистрированная в Северной Каролине, США образовательная, некоммерческая, неполитическая организация, которая ставит своей целью улучшение и распространение знаний о механике вездеходных транспортных средств и машин. С 1964 года ISTVS начинает издавать ежегодник «Journal of Terramechanics», выходящий обычно в нескольких частях.

За более чем полвека своего развития террамеханика достаточно быстро развивалась, совершенствуя свой математический аппарат и методы описания грунта. В настоящий момент господствуют два основных метода описания грунта – нелинейно-упругий и упруго-пластический [2]. Первый основывается на нелинейных зависимостях между напряжениями и деформациями. При этом напряжения и деформации принимаются единичными во всех точках

грунтового массива как при нагружении, так и разгрузке. При этом пластические деформации учитываются в сумме с упругими путем применения эмпирических зависимостей «напряжение - полная (упругая + пластическая) деформация». К уравнениям физически нелинейной теории упругости классические методы интегрирования, развитые в линейной теории упругости, неприменимы. При решении задач физически нелинейной теории упругости прибегают к методу последовательных приближений (итераций). Решение нелинейной задачи при этом сводится к решению последовательности линейных задач, каждая из которых является некоторой отдельной задачей линейной теории упругости. Этот способ получил название метода упругих решений. В целом нелинейно-упругие решения (решения в рамках деформационной теории пластичности) позволяют получить достаточно достоверные по сравнению с линейными решениями результаты. Однако эти решения не позволяют учесть в расчетах траекторию нагружения, появление несоосности тензоров напряжений и деформаций и нарушение подобия напряженного и деформированного состояний, характерных для сложных траекторий нагружения грунтов. Таким образом, применение нелинейно-упругих решений к грунтовым массивам ограничивается случаями простых или близких к ним траекторий нагружения, как это делается в работах [3–7].

Альтернативный (упругопластический) подход к решению задач механики грунтов основывается на раздельном описании упругих и пластических деформаций различными физическими зависимостями. В этом подходе можно выделить различные варианты упругопластических решений. Однако в основе большинства из них лежит использование теории пластического течения. В соответствии с представлениями теории пластического течения для упругопластических решений механики грунтов характерно использование дифференциальных зависимостей между напряжениями и деформациями (пластическими и полными) и процедуры последовательного (шагового) нагружения грунтовых массивов согласно очередности приложения и изменения внешних нагрузок, каждая из которых представляется определенным числом ступеней (шагов).

Модель упруго-идеальнопластической среды использовалась при решении различных задач механики грунтов и, в частности, нашла эффективное применение при решении смешанной задачи теорий упругости и пластичности грунтов. Решение смешанной задачи [2, 3] должно удовлетворять в областях допредельного (упругого) и предельного напряженных состояний грунта одним и тем же уравнениям равновесия, геометрическим соотношениям, но различным в этих областях физическим уравнениям и условию предельного равновесия в пластической области. При этом в процессе решения должна быть найдена упругопластическая граница, разделяющая области упругого и предельного равновесия. В такой постановке смешанная задача может быть решена только численно при помощи компьютера с использованием процедуры шагового нагружения. Весьма удобным при этом является метод конечных элементов (МКЭ). При применении МКЭ можно легко проследить за развитием пластической области по конечным элементам, грунт которых перешел в предельное состояние.

Одной из первых работ, использовавших МКЭ для решения задачи взаимодействия колеса с почвой, была [8]. В данной работе исследовалось смещение частиц почвы под давлением абсолютно жесткого колеса. Постановка задачи предполагала плоское решение задачи, при этом глубина погружения колеса в грунт не превышала 0,2 диаметра колеса. В работе использовался нелинейно-упругая модель среды. Грунт представлялся как массив треугольных элементов (рис. 1).

Использование МКЭ в данной работе показало достаточно высокую точность при моделировании движения по грунту без проскальзывания. Благодаря методу были получены картины деформирования грунта колесом, а также траектории движения частиц грунта, достаточно точно совпадающие с результатами эксперимента. В более поздних работах, таких, как [9], исследовались более сложные случаи, такие как объемная постановка задачи с близким к реальному профилю колеса, учётом давления воздуха в шине, учётом проскальзывания. Это позволило получить более адекватную картину распределения удельных нагрузок в грунте (рис. 2).

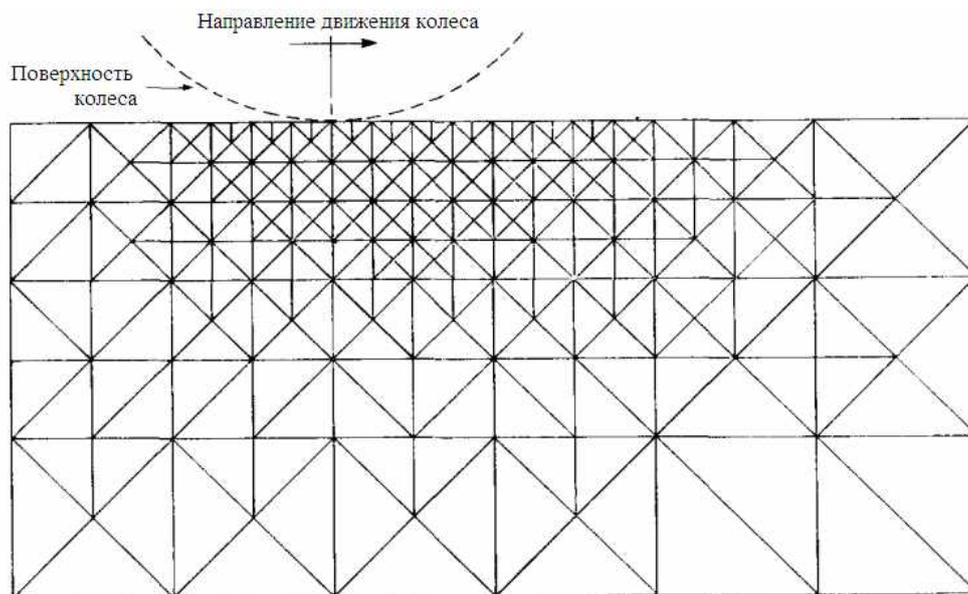


Рис. 1. Разбиение грунта на конечные элементы[8]

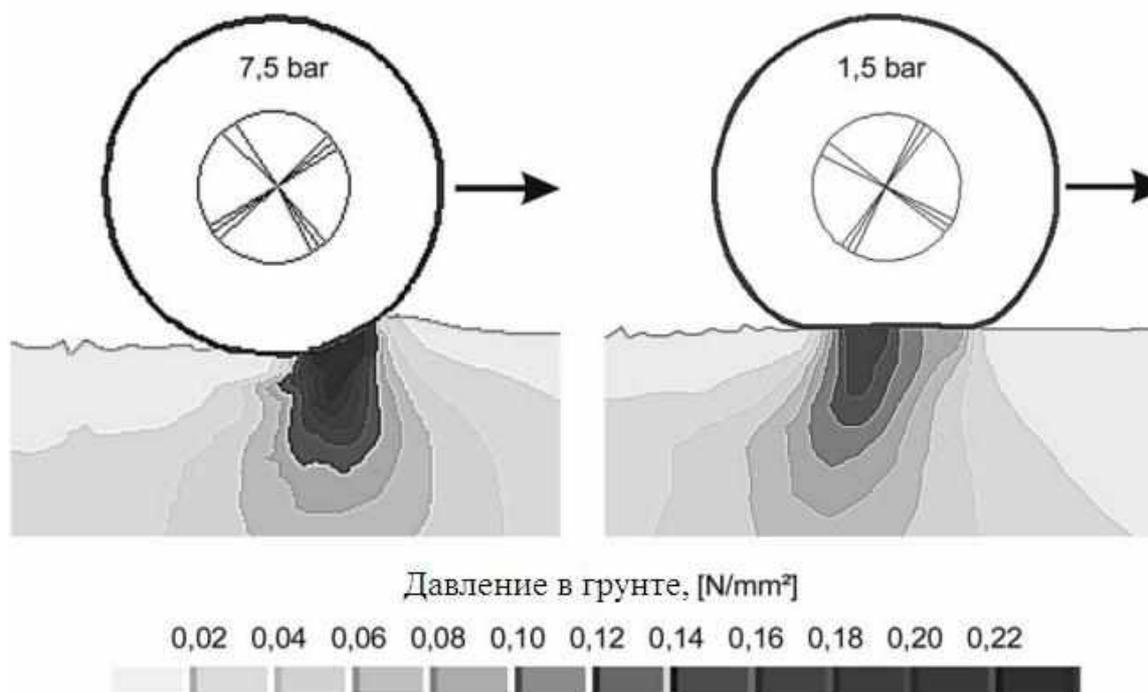


Рис. 2 Картина распределения давления в грунте в зависимости от различного давления в шине при качении по песку [9]

При качении колеса по криволинейной траектории, а также для шин с развитыми боковыми грунтозацепами будет наблюдаться также экскавационно-бульдозерный эффект, подробно рассмотренный в [3, 5, 6]. В работе [10] рассматривается методика моделирования данного эффекта с целью улучшения экологических показателей транспорта и уменьшения вредного влияния движителя на грунт, предотвращения разрушения его верхнего слоя. Для моделирования используется многоцелевой конечно-элементный комплекс для инженерного анализа ABAQUS. Грунт в этом случае моделируется на основе пластического материала с подстройкой параметров под реальные механические свойства грунта. При этом для грунтов без внутреннего трения результаты получаются весьма достоверными, для фрикционных же грунтов результаты несколько отличаются от экспериментальных. Проблема решалась до-

бавлением пластической несжимаемости материала. Объёмная картина образования колеи весьма точно соответствовала реальной (рис. 3).

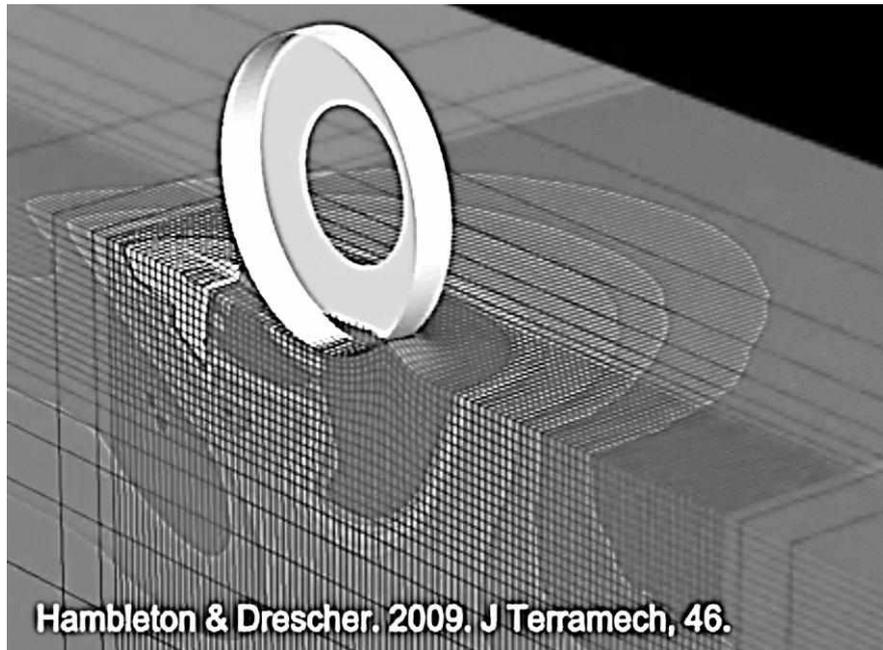


Рис. 3. Распределение напряжений в грунте во время качения колеса и образование колеи [10]



Рис. 4. Взаимодействие шины с деформируемым грунтом [11]

Современной тенденцией в области исследования движения колеса по грунту является предсказание поведения протектора шины на грунте. К примеру, в работе [11] исследуется деформация грунта под действием давления шины, представленной как система демпферов. Грунт представлен в виде модели Бузинеса-Церрути (Boussinesq-Cerruti) с определением распределения давления как функции от вертикальных и боковых сил по поверхности грунта. Модель представляет грунт в виде системы дискретных объёмов («колонн»). Деформация

каждого из этих объёмов моделируется при помощи вязко-эластичных соотношений. Это позволяет соотнести давления в грунте с изменениями в объёмной плотности грунта, что, в свою очередь, позволяет показать смещение грунта. Благодаря этой индивидуальной «подстройке» «колонн» и учёту формы и деформации шины появляется возможность достаточно достоверно учитывать боковые силы, возникающие из-за скольжения и экскавационного эффекта, что было невозможно на старых моделях, таких, как модель Беккера. В отличие от большинства эмпирических террамеханических моделей, данная модель отличается высокой адекватностью (рис. 4).

В нижегородской научной школе вездеходных машин подробно исследуется процесс взаимодействия колеса со снегом. В этой области также с успехом применяется метод конечных элементов. Так, в работе [12] анализируются различные модели снега, применяемые в расчётах сопротивления качению колеса. Вязкоэластичная модель грунта, с одноосным напряжением рассматривается в данной работе как недостаточно достоверная по причине того, что в ней не учитывается объёмное напряжённое состояние материала. В качестве модели грунта для описания снега в работе анализируются «модифицированная модель Cam Clay» и модель эластичности Друкера-Прегера.

Первая из них достаточно точно описывает траектории первичного нагружения грунта, но неприменима для разгрузки. В случае снега этот недостаток не критичен. Модель характеризуется поверхностью текучести эллипсоидной формы, изотропным механизмом упрочнения и нелинейным законом упругости. В отличие от простой формулировки этой модели, её алгоритмическая реализация более сложна и учитывает взаимовлияние модулей упругости и упрочнения, и неассоциативную форму закона упрочнения. Вторая модель характеризуется сглаженной версией поверхности текучести Мора — Кулона. Она используется для моделирования грунтов, а также пеноматериалов. В работе рассматриваются [12] также методы уточнения моделей для более точного моделирования деформирования снега колесом.

Таким образом, метод конечных элементов сегодня успешно используется для решения задач террамеханики. Возможно использовать его и для моделирования движения транспортные средств по снегу, а также решения задачи взаимодействия движителя транспортного средства, его корпуса и материала полотна пути.

В качестве начальной задачи в настоящей работе было рассмотрено прямолинейное равномерное движение прямоугольного абсолютно твёрдого объекта в материале, имитирующем снег. Для моделирования использовался программный пакет конечно-элементного анализа LS-DYNA. В пакете присутствует несколько материалов [13], предназначенных для моделирования грунта, но отсутствует материал, имеющий свойства снега. Поэтому на первом этапе был выбран наиболее близкий по свойствам универсальный разрушаемый пеноматериал, настраиваемые механические характеристики которого были приближены к снегу. В ходе моделирования были получены картины деформации (рис. 5) и распределения напряжений (рис. 6) в материале. Деформация материала в первом приближении выглядит адекватно, но не отражает реальных механических свойств снежного покрова, следовательно, данный материал в своём первоначальном виде не может применяться для моделирования движения транспортных средств по снегу.

Для решения этой проблемы на следующем этапе необходимо выбрать математическую модель материала, более точно соответствующую снежному покрову, изменить её настройки для приведения в соответствие с механическими характеристиками снега. На последующих этапах исследования планируется экспериментальная отработка для сравнения результатов, полученных с помощью математической модели, с реальными данными. В ходе данных экспериментов будет исследоваться движение по снегу реальных объектов простой формы и затем – их математических моделей. Такой подход позволит, получив достаточно достоверную модель снега, использовать её в дальнейшем для расчёта сил сопротивления

движению автотранспортных средств методом моделирования при помощи конечно-элементного анализа.

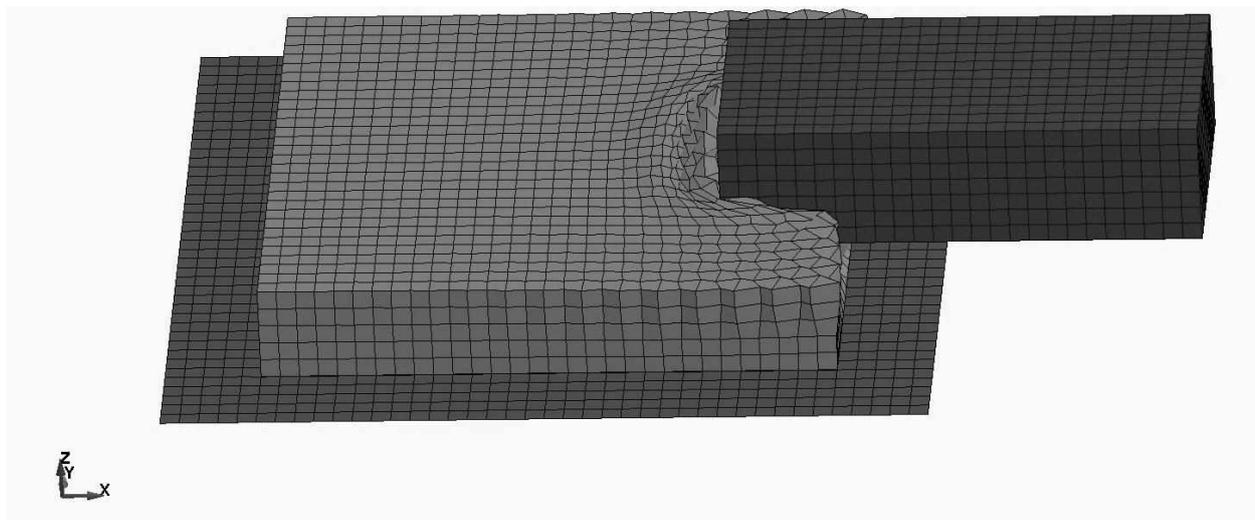


Рис. 5. Деформация имитатора снега твёрдым объектом

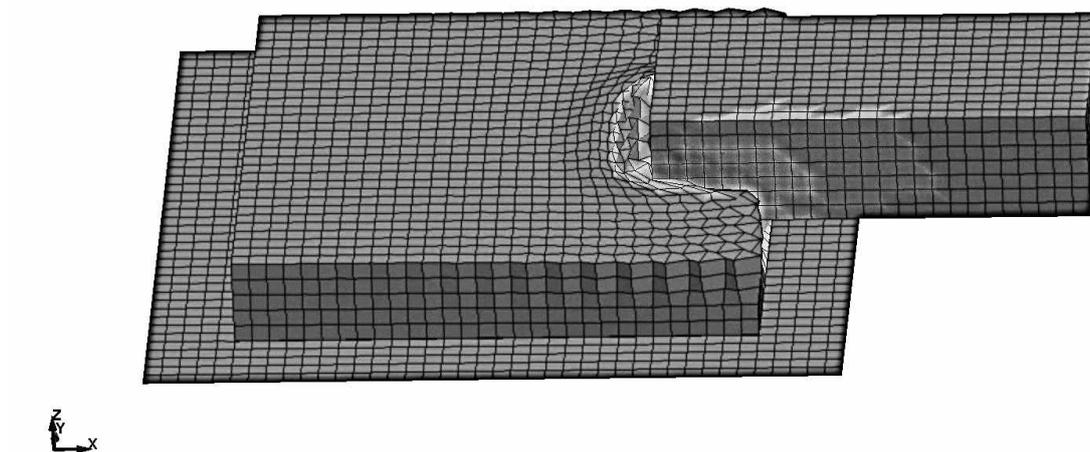


Рис. 6. Напряжения в имитаторе снега и твёрдом объекте

Следующим этапом исследований должно стать моделирование с использованием полученной модели снега взаимодействия колёсного движителя, корпуса и снежного покрова. Это позволит рассматривать образование колеи как процесс обтекания корпуса и движителя материалом дорожного полотна и проводить расчёты «динамики грунта» по аналогии аэродинамикой автотранспортных средств.

Моделирование движения колёсных машин по снегу с использованием метода конечных элементов позволит сократить затраты на проектирование корпусов транспортно-технологических машин, особенно работающих в условиях бездорожья и снежного покрова благодаря замене значительной части натурных испытаний компьютерной симуляцией.

Библиографический список

1. **Котович, С.В.** Движители специальных транспортных средств. Часть I: учеб. пособие / С.В. Котович; МАДИ (ГТУ). – М., 2008. – 161 с.
2. **Султанов, Т. З.** Оценка динамического поведения неоднородных систем с учётом нелинейно-вязкоупругих свойств грунта / Т. З. Султанов, Д. А. Ходжаев, М. М. Мирсаидов // Инженерно-строительный журнал. 2014. №1. С. 80–118.

3. **Беляков, В.В.** Методика расчета и анализ путей повышения проходимости многоосных колесных машин по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 1992. – 130 с.
4. **Беляков, В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дисс. ... докт.тех.наук: 05.05.03. – Н. Новгород 1999. – 485 с.
5. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.
6. **Гончаров, К.О.** Оценка влияния экскавационно-бульдозерных эффектов на проходимость многоосных колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2010. – 259 с.
7. **Зезюлин, Д. В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2010. – 218 с.
8. **Yong, R. N.** Prediction of wheel-soil interaction and performance using the finite element method / R. N. Yong, E. A. Fattah // Journal of Terramechanics. 1976. V. 13 №4. P. 227–240.
9. **Fervers, C.W.** Improved FEM simulation model for tire–soil interaction / C.W. Fervers // Journal of Terramechanics. 2004. № 41 P. 87–100.
10. **Hambleton, J.P.** Modeling wheel-induced rutting in soils: Rolling / J.P. Hambleton, A. Drescher // Journal of Terramechanics. 2009. № 46.
11. **Madsen, J.** A Physics-Based Vehicle-Terrain Interaction Model for Soft Soil Off-Road Vehicle Simulations / J. Madsen, D. Negrut, A. Reid, A. Seidl, P. Ayers, G. Bozdech, J. Freeman, J. O’Kins // SAE International Journal of Commercial Vehicles. 2012. №5(1). С. 280–290.
12. **Meschke, G.** Large strain finite-element analysis of snow / G. Meschke, C. Liu, H. A. Mang // Journal of engineering mechanics –July. 1996. №122. P. 591–602.
13. **LS-DYNA 960 Keyword User’s Manual** // Livermore Software Technology Corporation. 2001.

*Дата поступления
в редакцию 01.12.2014*

D.S. Teslenko, V.V. Belyakov, V.S. Makarov, D.V. Zezyulin

USING FINITE-ELEMENT METHOD FOR SOLVING TERRAMECHANICS TASKS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Overview of the finite element method applied to terramechanics.

Design/methodology/approach: Review and analysis of information sources.

The results and their application area: This article describes methods for modeling the interaction of the wheel and the ground with the help of the finite element method; Is given a literature review on this topic. The present study provides a starting-point for further research in the field of snow-terrmechanics.

Conclusions: The finite element method has been successfully applied in terramechanics. To use it to simulate the movement of the machine through the snow need to create mathematical models that adequately describe the mechanical properties of snow. The results can be used to design vehicles that are more efficient.

Key words: snow, tire-soil interaction, soil model, finite element modeling.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.314

А.Б. Дарьенков, И.В. Воротынцев, И.А. Варьгин

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Цель: В статье рассматриваются вопросы моделирования трехфазного матричного преобразователя частоты, питающего асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором.

Подход: Моделирование производилось с использованием теории асинхронного электродвигателя с применением возможностей программного пакета MATLAB Simulink.

Выводы: Результаты моделирования показывают, что электропривод на базе матричного преобразователя частоты имеет высокую эффективность.

Результаты исследования: Результаты использованы при разработке прототипа матричного преобразователя на базе лаборатории НГТУ.

Оригинальность исследования: Инновационная топология AC/AC-преобразователя, с использованием скалярного управления.

Ключевые слова: матричный преобразователь частоты, электропривод, скалярное управление.

Введение

Матричные преобразователи частоты (МПЧ) пока еще остаются объектом научно-технических изысканий, и не выходят на мировой рынок силовой преобразовательной техники [1]. Тем не менее, топология силовой части МПЧ, позволяющая обходиться без громоздкого входного фильтра, исключить использование звена постоянного тока и позволяющая относительно легко регулировать входной коэффициент мощности, делают этот тип преобразователей привлекательным объектом для исследований. Особое внимание исследователей привлекает разработка энергосберегающего электропривода на базе асинхронного двигателя (АД), управляемого МПЧ. Растущее количество публикаций на эту тему подтверждает преимущества МПЧ по сравнению с традиционными инверторами со звеном постоянного напряжения, которые нашли наиболее широкое применение в составе электроприводов. В настоящее время на базе лаборатории НГТУ разрабатывается МПЧ, способный питать трехфазные асинхронные двигатели (АД) мощностью до 4-х кВт [2].

Структура асинхронного электропривода на базе МПЧ

Силовая часть трехфазно-трехфазного МПЧ переменного тока состоит из девяти силовых двунаправленных ключей, объединенных в матрицу размерностью 3×3 таким образом, что любая фаза питания может быть подключена к любой фазе нагрузки в любой момент времени (рис. 1).

Структурная схема имитационной модели системы «МПЧ-АД» приведена на рис. 2.

МПЧ питается от трехфазной сети переменного напряжения. Между МПЧ и питающей его сетью установлен входной фильтр Φ , служащий защитой от перепадов входного напря-

жения МПЧ и предотвращающий генерацию в сеть высокочастотных токовых гармоник. Преобразователь питает асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (АД).

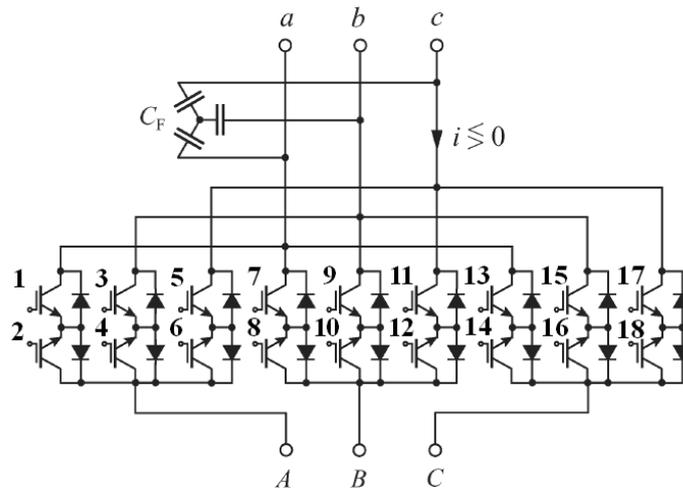


Рис. 1. Трехфазно-трехфазный МПЧ

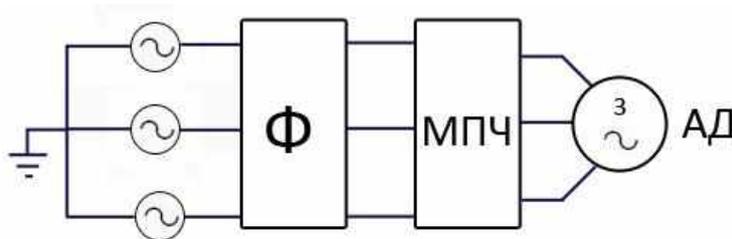


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели «МПЧ-АД»

Алгоритм управления МПЧ

При выводе уравнений, описывающих МПЧ, для упрощения предположим, что на входе МПЧ отсутствуют фильтрующие элементы, т.е., $C_f = 0$, $V_{sj} = V_j$, $i_{sj} = i_j$, где V_j и i_j – напряжение питания и потребляемый преобразователем ток в фазе j , C_f – величина емкости входного фильтра МПЧ.

Предполагается, что МПЧ питается от симметричного источника напряжения, который может быть описан следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} V_{SA} = V_m \cos \Theta_A = V_m \cos(\omega t) \\ V_{SB} = V_m \cos \Theta_B = V_m \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), \\ V_{SC} = V_m \cos \Theta_C = V_m \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (1)$$

а сторона нагрузки МПЧ является идеальным симметричным трехфазным источником тока и описывается в виде следующих выражений:

$$\begin{cases} i_{sU} = I_o \cos \Theta_o = I_o \cos(\omega_o t + \varphi_o) \\ i_{sV} = I_o \cos\left(\omega_o t + \varphi_o - \frac{2\pi}{3}\right) \\ V_{sC} = I_o \cos\left(\omega_o t + \varphi_o + \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (2)$$

где ω_1, ω_0 – входная и выходная угловые частоты соответственно; φ_0 – начальная фаза тока; V_m, I_o – амплитуды входного напряжения и выходного тока соответственно; $\Theta_A, \Theta_B, \Theta_C$ – начальные фазы напряжений питающей сети.

При анализе необходимо учитывать, что частота коммутации силовых вентилялей на несколько порядков больше угловой частоты питающей сети и выходного напряжения. Таким образом, на каждом цикле переключения вентилялей как входное напряжение, так и выходной ток можно считать постоянными величинами.

На периоде сети можно выделить шесть интервалов, на протяжении которых линейные напряжения максимальны, например, V_{AB} имеет наибольшее абсолютное значение на интервале 1, V_{AC} имеет наибольшее абсолютную значение на интервале 2, и так далее (рис. 3) [3].

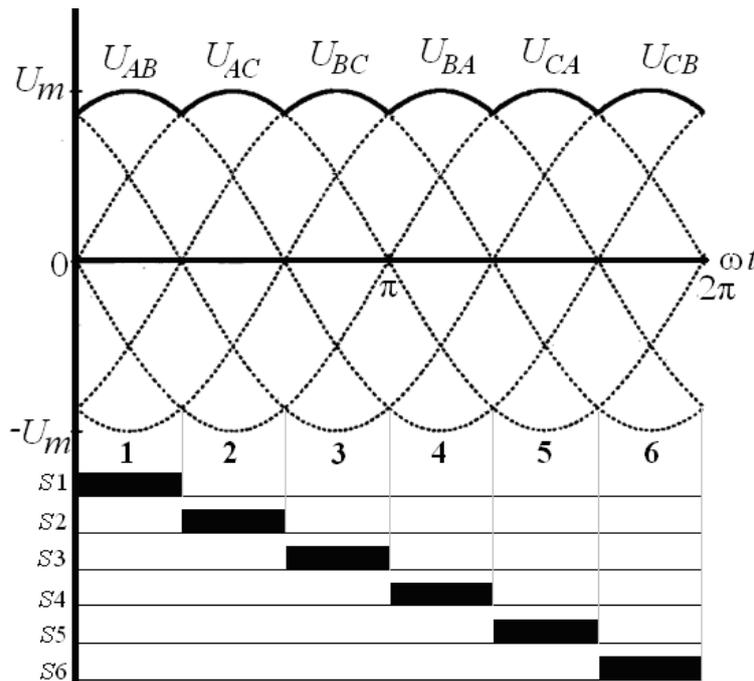


Рис. 3. Определение рабочих интервалов МПЧ

Каждый цикл переключения вентилялей разделен на две части, при этом имеется три состояния силовых ключей преобразователя: вентиль открыт, закрыт, либо на его затвор подается ШИМ от системы управления. В качестве примера рассмотрим интервал, когда напряжение V_{AB} максимально.

На этом интервале для формирования напряжений нагрузки будут задействованы только вентиля, подключенные к фазам A и B питания, вентиля, подключенные к фазе C питания в течение интервала 1 будут выключены. Так как потенциал фазы A больше, чем потенциал фазы B , входной ток протекает от фазы A к фазе B , следовательно, фазу A питания к нагрузке следует подключать через подводящие вентиля (вентили 1, 7, 10 на рис.1), а фазу B – через отводящие вентиля (вентили 4, 10, 16 на рис.1). В этом случае эквивалентная схема МПЧ принимает вид схемы автономного инвертора напряжения (АИН) (рис. 4). Роль постоянного напряжения U_{DC} играет линейное напряжение U_{AB} , имеющее на данном интервале постоянный знак, эквивалентом постоянного тока является входной фазный ток I_A и $-I_B$. Входной ток I_C при этом равен нулю. В то же время, для обеспечения обратного направления тока в нагрузке, вентиля 2, 8, 14 в фазе A нагрузки и вентиля 3, 9, 15 в фазе B нагрузки должны быть постоянно открыты в течение всего рабочего интервала. Аналогичным образом осуществляется работа на остальных интервалах.

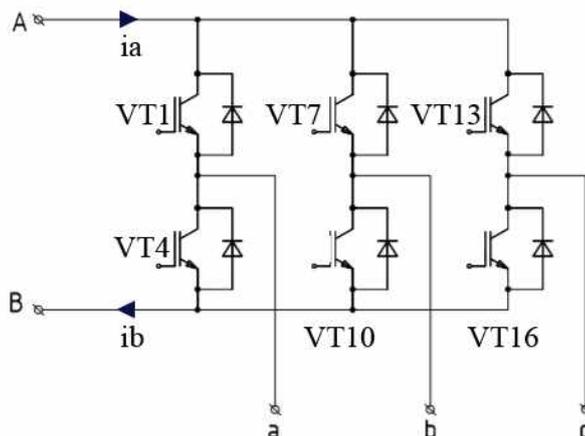


Рис. 4. Приведение топологии МПЧ к топологии АИН на рабочем интервале $V_{AB} = \max$

Имитационная модель электропривода

На основании изложенных выше соображений была разработана имитационная модель системы МПЧ-АД в программном пакете *MATLAB Simulink*. Общий вид модели представлен на рис. 5.

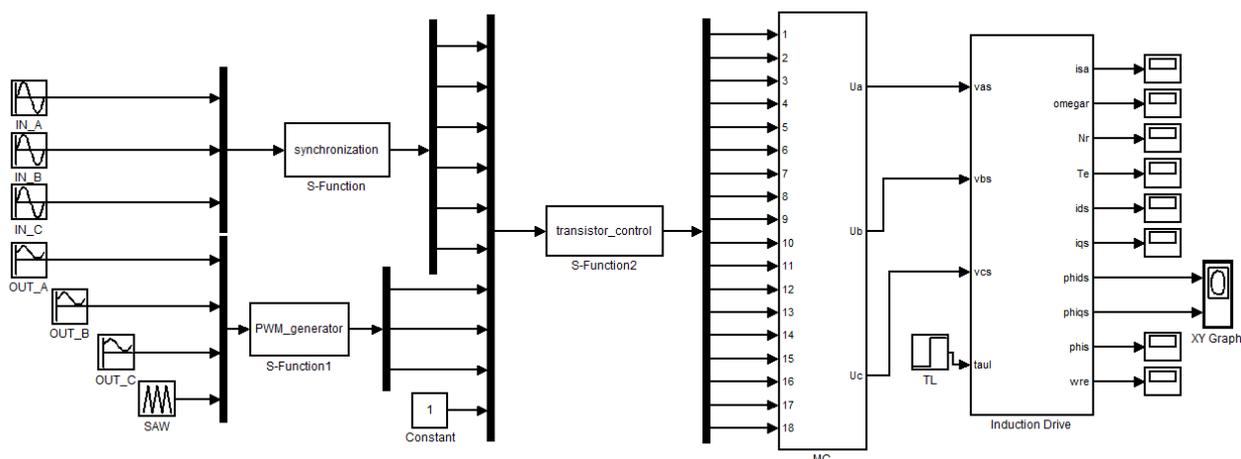


Рис. 5. Имитационная модель системы «МПЧ-АД» в программном пакете *MATLAB Simulink*

Для отработки алгоритма управления использовались три блока пользовательских функций *S-Function* (*S-функция*). *S-функция «synchronization»* формирует синхроимпульсы *S1-S6*, сравнивая между собой мгновенные значения фазных напряжений питания, имитируемых блоками *IN_A*, *IN_B*, *IN_C* аналогично тому, как это показано на рис. 3. *S-функция PWM_generator* формирует три ШИМ-сигнала посредством сравнения мгновенных значений желаемых выходных синусоид *OUT_A*, *OUT_B*, *OUT_C* с уровнем пилообразного сигнала, заданного блоком *SAW*.

Импульсы управления формирует *S-функция transistor_control*. Управляющие импульсы формируются для каждого транзистора в соответствии с условиями, описанными выше, и подаются на затворы *IGBT*.

Нагрузкой МПЧ служит трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. В созданной авторами имитационной модели используется двухфазная модель асинхронного двигателя. Как известно, преобразование трехфазной координатной системы в эквивалентную двухфазную значительно упрощает систему уравнений, описывающую АД. Численное решение упрощенной системы требует значительно меньшего времени и более устойчиво. Модель, описывающая АД в *MATLAB Simulink*, построена на основе уравнений, подробно описанных в [1].

Результаты моделирования

При моделировании рассматривалась работа МПЧ на АД мощностью 500 Вт.

Результаты моделирования при выходных частотах МПЧ, равных 30 и 100 Гц, приведены на рис. 6. Диаграммы изменения угловой частоты вращения вала при пуске АД с выходными частотами МПЧ 30 и 100 Гц приведены на рис. 6, а, б соответственно; фазный ток статора АД для указанных рабочих частот показан на рис. 6, в, г; электромагнитный момент двигателя приведен на рис. 6, д, е соответственно.

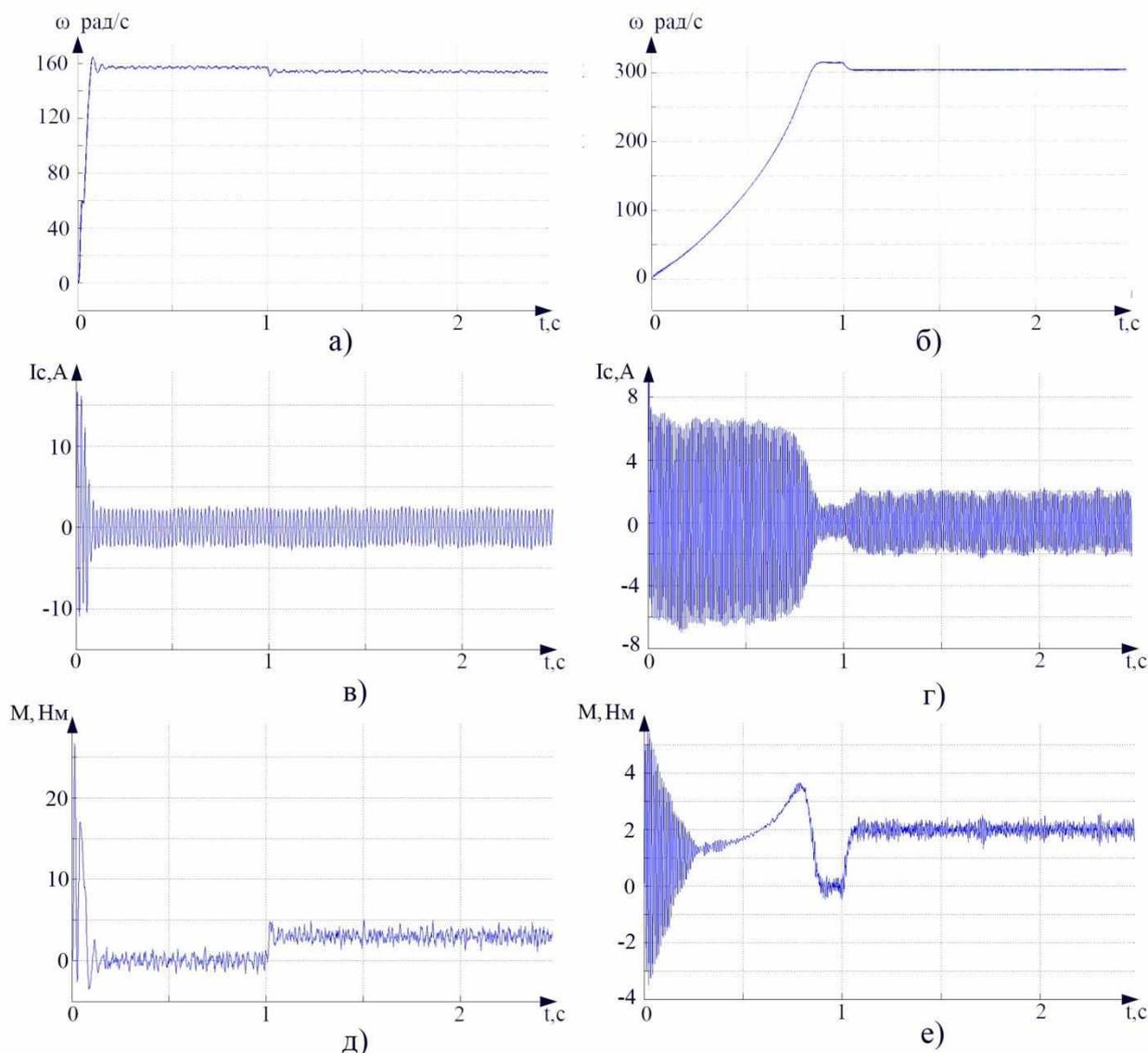


Рис. 6. Результаты моделирования электропривода по схеме «МПЧ-АД» при выходных частотах МПЧ 30 Гц (а, в, д) и 100 Гц (б, г, е):

а, б – диаграммы изменения угловой частоты вращения ротора АД; в, г – диаграммы изменения тока статора АД; д, е – диаграммы изменения электромагнитного момента АД

Выводы

Диаграммы изменения скорости и электромагнитного момента показывают тенденцию к увеличению амплитуды пульсаций скорости с уменьшением выходной частоты. Как видно из результатов моделирования, фазные токи статора АД близки по своему внешнему виду к аналогичным диаграммам, полученным при подключении к входу АД идеального источника сетевого напряжения [4]. В целом, результаты моделирования показывают возмож-

ность питания АД напряжением, генерируемым МПЧ с использованием описанного алгоритма. Однако, пульсации электромагнитного момента составляют по амплитуде 0,5 Нм (25% от постоянного значения), что может привести к нагреву ротора АД. Таким образом, следует уделять особое внимание качеству выходных напряжений, генерируемых МПЧ.

Библиографический список

1. **Виноградов, А.Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов. – Иваново: ИГЭУ, 2008. – 98 с.
2. **Дарьенков, А.Б.** Макет матричного преобразователя частоты / А.Б. Дарьенков, О.С. Хватов, Д.А. Корнев, И.А. Варыгин // Материалы XI молодежной научно-технической конференции; НГТУ. – Н. Новгород, 2012. С. 58.
3. **Дарьенков, А.Б.** Оптимизация алгоритма управления матричным преобразователем частоты / А.Б. Дарьенков, О.С. Хватов, И.А. Варыгин, Д.А. Корнев // Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XVII Бенардосовские чтения): материалы международной научно-технической конференции; ИГЭУ им. В.И. Ленина. – Иваново, 2013. Т. 3. С. 65.
4. **Соколовский, Г.Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. – М.: Академия, 2006. – 272 с.

*Дата поступления
в редакцию 15.12.2014*

A.B. Daryenkov, I.V. Vorotynceev, I.A. Varygin

MODELLING AND SIMULATION OF THREE PHASE MATRIX CONVERTER FED INDUCTION MOTOR DRIVE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: This paper presents the modeling issues of applying three phase matrix converter fed squirrel cage induction motor.

Approach: A theoretical framework is proposed based on software design patterns and induction motor theory.

Findings: The calculation results indicate that electric drives based on matrix converter have good efficiency.

Research implications: The results are used in developing a prototype matrix converter in NSTU n.a. R.E. Alexeev.

Originality: A new direct AC/AC converter topology based on the scalar modulation strategy.

Key words: matrix converter, induction motor drive, scalar control.

УДК 621.314

Р.В. Колосов, Ю.М. Максимов, В.В. Титов

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОЙ ГРУППОЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается тематика использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) работающих на автономную сеть, а также изложена концепция нечетких множеств и её применение для задач управления группой автономных возобновляемых источников энергии, построена модель элемента нечеткого регулятора и представлены результаты моделирования. Построенная модель системы позволяет учитывать различные внешние воздействия, такие как изменение скорости ветра, величину солнечного излучения, величину заряда аккумуляторных батарей, величину нагрузки в сети. Существует возможность оценки состояния всех систем, возможно прогнозирование потребляемой и вырабатываемой мощности, оценка времени работы от аккумуляторных батарей, необходимость их заряда. Полученные результаты моделирования показывают работоспособность нечеткого элемента для системы управления группой автономных возобновляемых источников энергии

Ключевые слова: Возобновляемые источники, нечеткие алгоритмы управления, моделирование, энергоэффективность, нечеткая логика.

Концепция нечетких множеств, введенная в середине 1960-х годов профессором Лотфи Заде из Калифорнийского университета в Беркли, вызвала неоднозначную реакцию в научном сообществе [1]. Одним из следствий такого положения дел было то, что в опубликованных в тот период времени книгах слишком большой акцент делается на логические, реляционные и тому подобные аспекты нечеткого управления, и при этом слишком мало внимания уделяется вопросам, связанным с управленческой спецификой: моделированию как основе управления. Значимость моделирования существенно выше, чем значимость собственно управления, поскольку область применения моделирования несравненно шире. К сожалению, проблемы моделирования не нашли должного освещения в литературе по нечетким системам, хотя исследования в области нечеткого моделирования и ведутся [2].

В концепции нечетких множеств не используются точные данные, измеренные с помощью каких либо устройств, а данные описываются с помощью таких терминов, как «низкая», «средняя» и «высокая» (так называемые «гранулы»). Такое описание предполагает использование информации любой степени гранулированности в задачах моделирования, управления, оптимизации и диагностики. Более высокая степень гранулированности может привести к сокращению объемов обрабатываемой и хранимой информации и к повышению быстродействия алгоритмов. Появляется возможность подстройки уровня гранулированности информации под требуемую точность моделирования, управления, оптимизации, диагностики и т. д. [2].

Применение элемента нечеткой логики для управления автономной группой возобновляемых источников позволит реализовать описанные выше преимущества для наиболее эффективного результата, то есть для получения максимальной мощности от возобновляемых источников энергии на выходе системы [3].

На рис. 1 представлена типовая структура нечеткой модели системы с двумя входами и одним выходом. На входы нечеткой модели поданы два четких числовых значения X_1^* , X_2^* . Блок «ФАЗЗИФИКАЦИЯ» (FUZZIFICATION) вычисляет их степени принадлежности входным нечетким множествам A_i , B_j . Для выполнения указанной операции блок фаззификации должен иметь доступ к точно определенным функциям принадлежности $\mu_{A_i}(X_1^*)$, $\mu_{B_j}(X_2^*)$ входов. Вычисленные и представленные на выходе блока фаззификации степени принадлежности $\mu_{A_i}(X_1^*)$, $\mu_{B_j}(X_2^*)$ дают информацию о том, в какой степени числовые значения X_1^* , X_2^* принадлежат конкретным нечетким множествам, т. е. насколько эти величины являются малыми (A_1 , B_1) или большими (A_2 , B_2). Блок «ВЫВОД» (INFERENCE) на входе получает степени принадлежности $\mu_{A_i}(X_1^*)$, $\mu_{B_j}(X_2^*)$ и на выходе вычисляет так называемую результирующую функцию принад-

ложности выходного значения модели (рис. 1). Данная функция обычно имеет сложную форму и определяется посредством вывода, который может быть осуществлен множеством способов. Блок «ДЕФАЗЗИФИКАЦИЯ» (DEFUZZIFICATION) на основе результирующей функции принадлежности $\mu_{res}(y)$ вычисляет четкое числовое значение y^* выходного параметра, являющееся результатом для входных числовых значений X_1^* , X_2^* . Данная операция выполняется посредством механизма дефаззификации, который определяет метод вычисления.

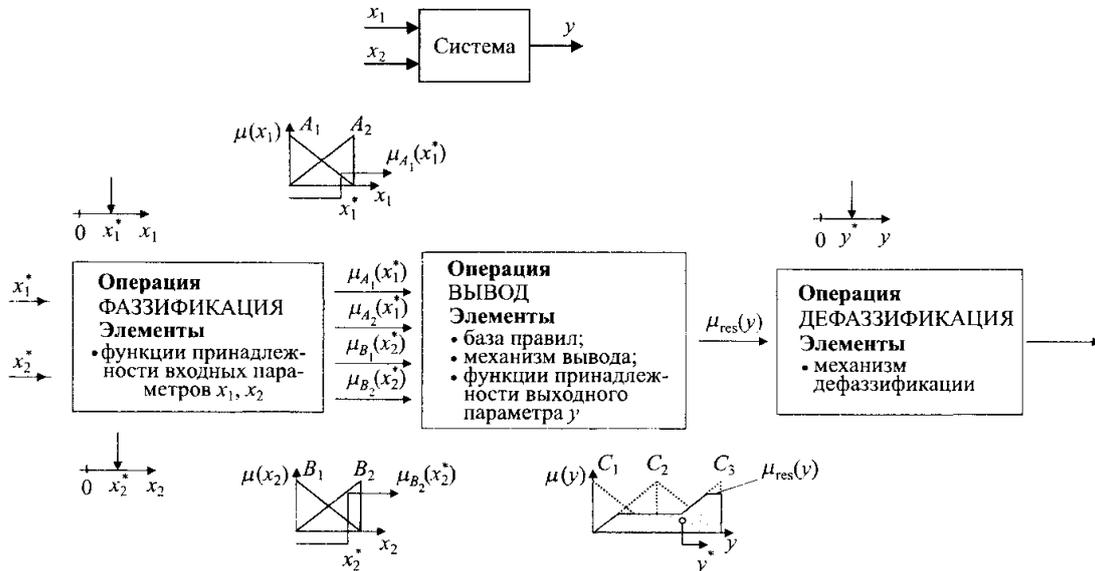


Рис. 1. Структура нечеткой модели системы с двумя входами и одним выходом

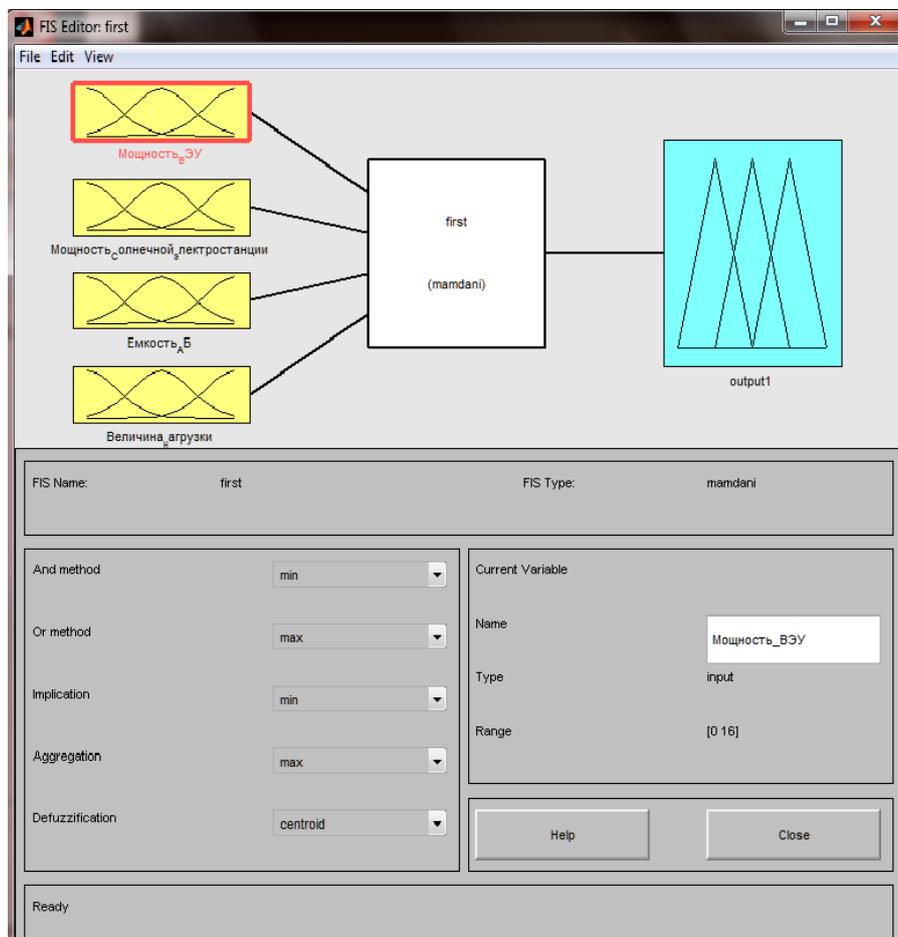


Рис. 2. Обобщенная схема нечеткого логического элемента

На рис. 2 представлена обобщенная схема нечеткого логического элемента, использующая в своей основе модель Мамдани [2].

Данная схема имеет четыре входные переменные, описывающие состояние каждого из присутствующих в ней элементов, и один выход, осуществляющий включение в сеть дизель – генератора при определенных состояниях системы.

Входные переменные:

- мощность вырабатываемая ветроэнергетической установкой (ВЭУ),
- мощность вырабатываемая солнечной электростанцией,
- емкость аккумуляторных батарей (АБ) в относительных единицах,
- величину нагрузки автономной сети в относительных единицах.

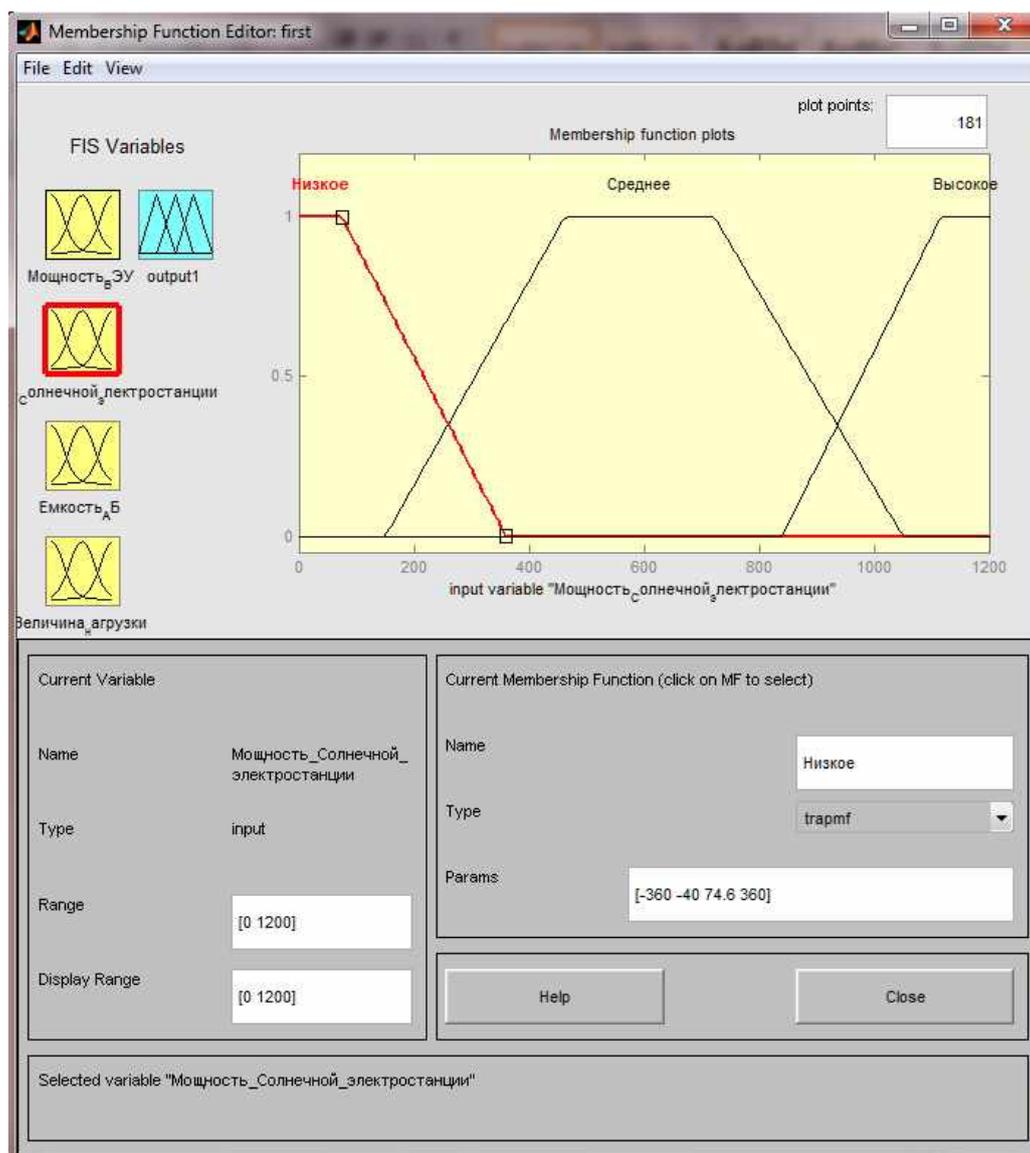


Рис. 3. Описание входных данных солнечной электростанции

На рис. 3 представлен вид входных переменных в виде трех гранул, описывающих состояния входа (состояние солнечного излучения) как «низкое», «среднее» и «высокое».

Далее формируется база правил нечеткого элемента записывающая соотношение всех входов и выходов ситемы при различных уровнях входных сигналов. Приведем несколько примеров правил:

1. if (Мощность_ВЭУ is Низкая) and (Мощность_Солнечной_электростанции is

Низкое) and (Емкость_АБ is Низкая) and (Величина_нагрузки is Низкая) then (output1 is Стоп_дизеля),

2. if (Мощность_ВЭУ is Средняя) and (Мощность_Солнечной_электростанции is Низкое) and (Емкость_АБ is Низкая) and (Величина_нагрузки is Высокая) then (output1 is Запуск_дизеля),

3. if (Мощность_ВЭУ is Высокая) and (Мощность_Солнечной_электростанции is Низкое) and (Емкость_АБ is Средняя) and (Величина_нагрузки is Низкая) then (output1 is Стоп_дизеля).

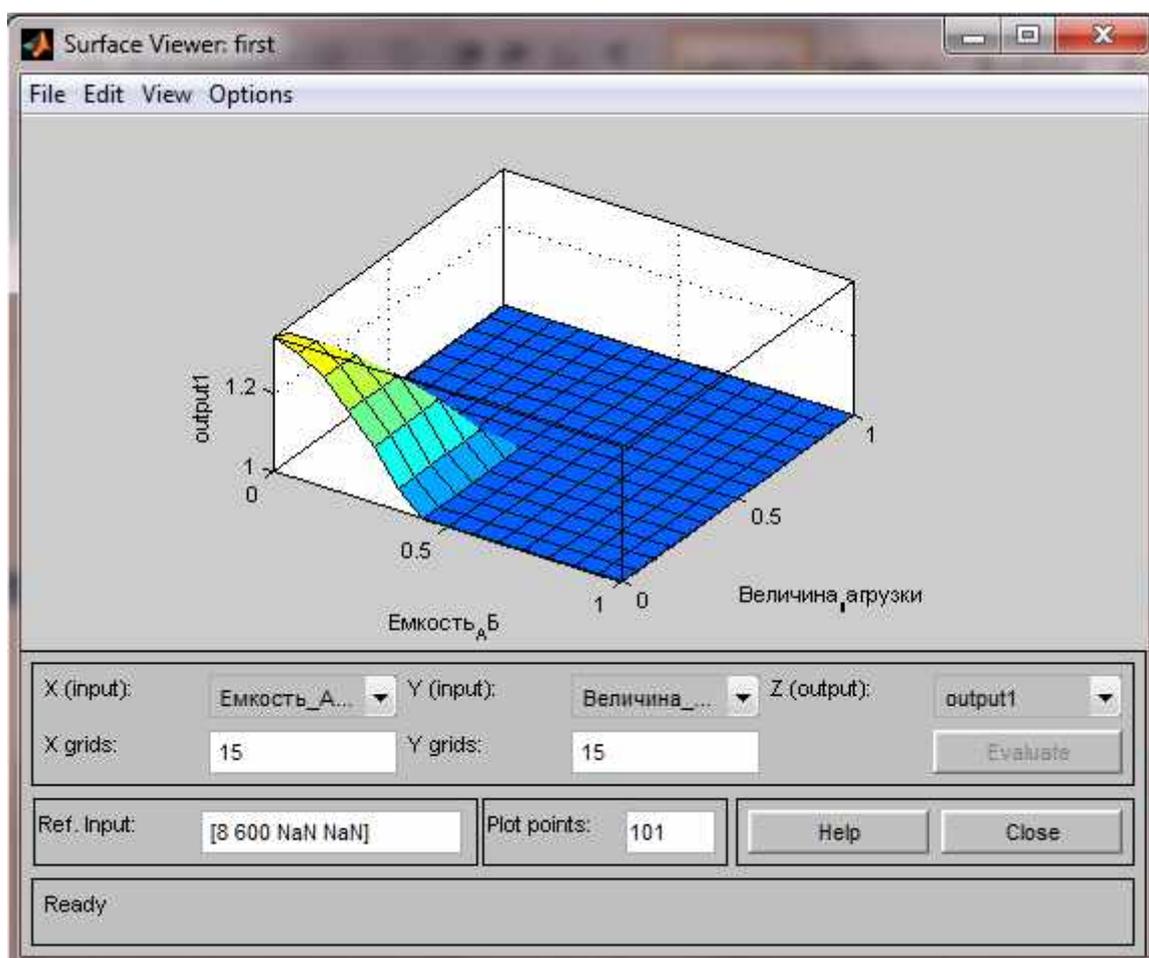


Рис. 4. Поверхность отображения «вход – выход» нечеткой модели

Представленная на рис. 4 поверхность отображения «вход – выход» показывает нам величину выходного сигнала при различных входных сигналах.

Полученные результаты моделирования показывают работоспособность нечеткого элемента для системы управления группой автономных возобновляемых источников энергии и позволяют построить полноценную модель системы управления группой возобновляемых источников энергии.

Библиографический список

1. **Zadeh, L.** Fuzzy sets // Information and Control. 1965. №8. P. 338–353.
2. **Пегат, А.** Нечеткое моделирование и управление: [пер. с англ.] / А. Пегат. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 798 с.

3. **Колосов, Р.В.** Система управления для альтернативных источников энергии / Р.В. Колосов, В.Г. Титов // Будущее технической науки: материалы международной молодежной научно-технической конференции; НГТУ. – Н. Новгород, 2012.

*Дата поступления
в редакцию 15.12.2014*

R.V. Kolosov, V.G. Titov, Yu.M. Maksimov

**CONTROL SYSTEM FOR AUTONOMOUS GROUP
OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The building element of the fuzzy controller to control a group of autonomous renewable.

Design / methodology / approach: Identified minimum required knowledge about the object for building management system.

Results: The constructed model of the system , allows to take into account the various external influences , such as changes in wind speed , the magnitude of the solar radiation , the amount of charge the batteries , the amount of load on the network. There is the possibility of assessing the state of all systems may predict consumption and power output, the estimation of the time of the batteries, the need for their charge.

Restrictions/values of research: Identified the possibility of using fuzzy logic to control group renewable, get the opportunity to study in detail the impact of various influences

Novelty/value: the resulting basis for developing a complete model of the system group management renewable energy.

Key words: Renewable , fuzzy control , modeling , energy efficiency , fuzzy logic.

УДК 621.3

А.А. Кралин¹, И.В. Воротынцев¹, В.В. Гуляев²

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ СО СХЕМОЙ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК Y/Y_0 ПРИ ПОФАЗНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
Волжская государственная академия водного транспорта²

Рассмотрены вопросы моделирования параллельной трехфазных трансформаторов со схемой соединения обмоток Y/Y_0 при пофазном регулировании. Модели, выполненные в пакете Simulink, разработаны на базе метода симметричных составляющих и комплексных схем замещения трансформатора.

Ключевые слова: трехфазный трансформатор, параллельная работа, метод симметричных составляющих, схемы замещения, Simulink.

Параллельная работа трансформаторов целесообразна при суточных или сезонных колебаниях нагрузки, а также в случае, когда нагрузка подстанции увеличивается постепенно, в течение ряда лет. Параллельная работа трансформаторов позволяет при снижении нагрузки отключать часть трансформаторов, уменьшая расход энергии. При этом проще решается проблема резервирования, так как в случае выхода из строя какого-либо трансформатора остальные могут полностью или частично принять на себя его нагрузку.

Основной трудностью, возникающей при параллельной работе трансформаторов при пофазном регулировании, является обеспечение равномерного распределения нагрузки между ними.

Отличительной чертой пофазного регулирования являются несимметричные режимы [1–3] работы трансформатора, которые определяются несимметричностью междуфазных первичных напряжений, а также несимметричностью чисел витков первичных обмоток. Следствием является несимметрия вторичных напряжений, что определяет качество энергии потребителя.

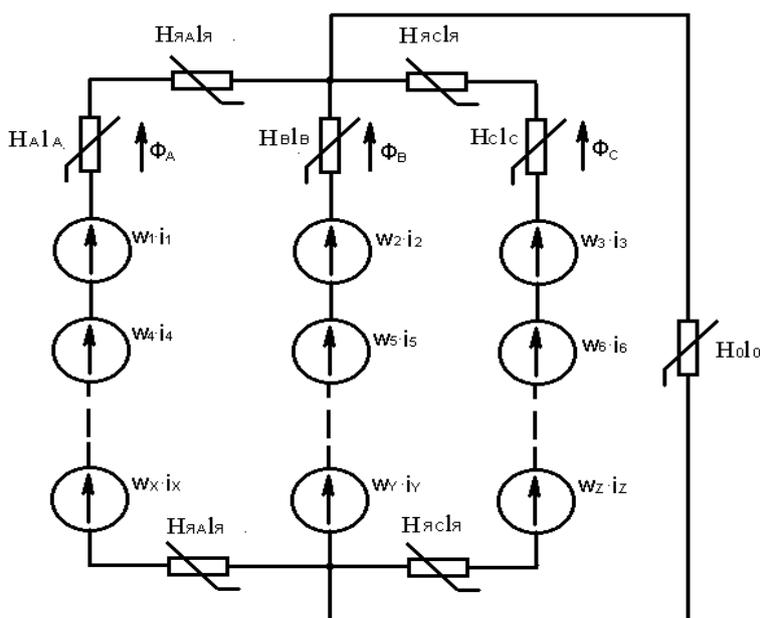


Рис. 1. Схема замещения магнитной цепи трансформатора

Исследование параллельной работы трансформаторов целесообразно осуществлять с помощью компьютерного моделирования с использованием мощных современных программных средств, таких как Matlab со встроенным пакетом визуального моделирования Simulink.

Для составления моделей в Simulink необходимо иметь математическое описание электромагнитной системы трехфазного трехстержневого трансформатора.

Схема замещения магнитной цепи (рис. 1.) состоит из следующих элементов ($w_1i_1-w_xi_x$), ($w_2i_2-w_yi_y$), ($w_3i_3-w_zi_z$) - намагничивающие силы обмоток на стержнях магнитопровода; ($\Phi_A-\Phi_C$) соответственно магнитные потоки фаз; $H_{AlA} \div H_{ClC}$; $H_{ЯAlЯ} \div H_{ЯClЯ}$ - падения магнитных напряжений на ферромагнитных участках (стержень, ярмо) от потока этих участков, H_{0l0} - падение магнитного напряжения от потока нулевой последовательности.

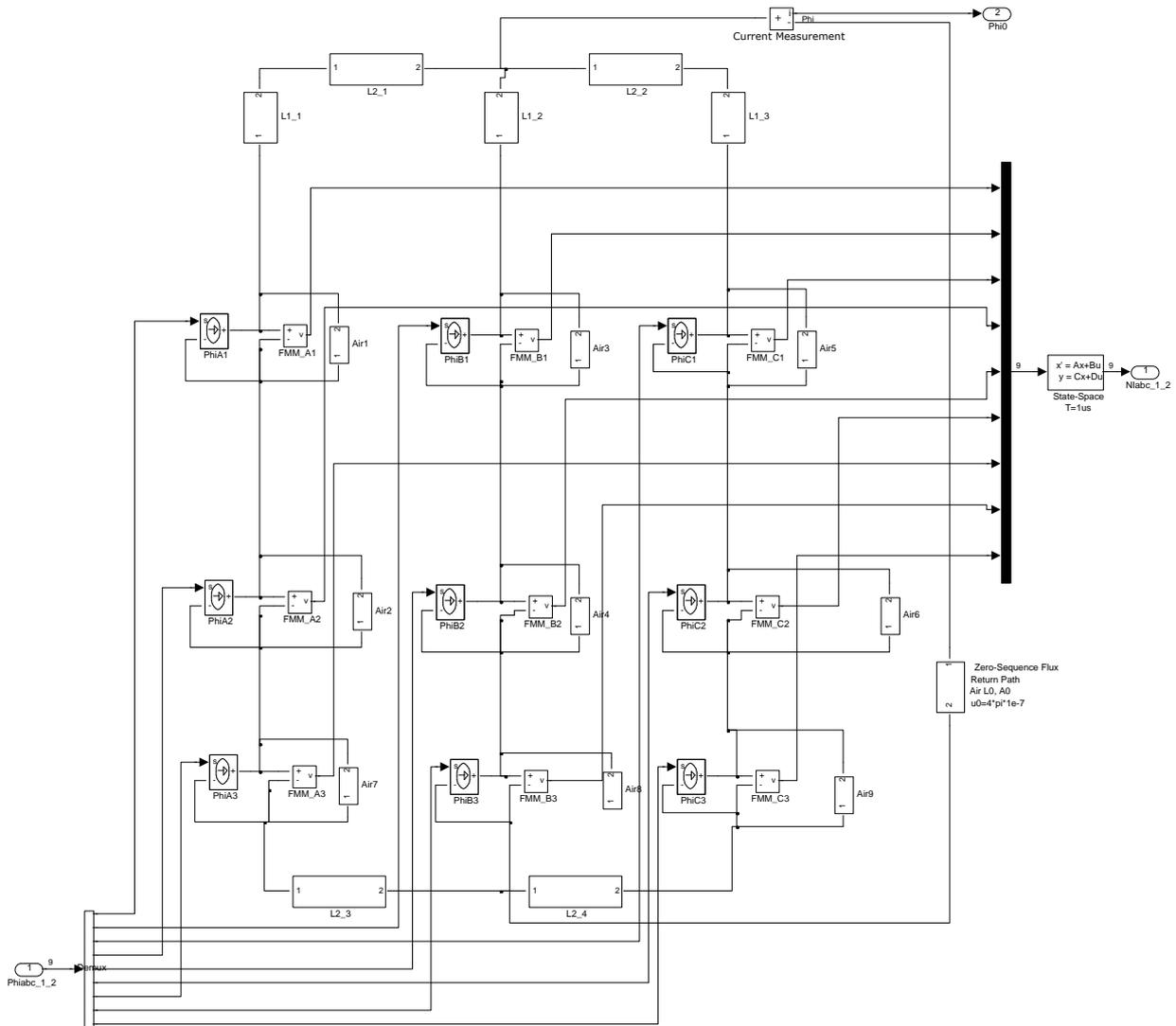


Рис. 2. Модель магнитной системы

В соответствии с приведенной схемой замещения уравнения магнитного состояния трехфазного многообмоточного трансформатора будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 w_1i_1+w_4i_4+\dots+w_xi_x - H_{AlA} - H_{ЯAlЯ} - H_{0l0}&=0; \\
 w_2i_2+ w_5i_5+\dots - w_yi_y - H_{BlB} - H_{0l0}&=0; \\
 w_3i_3+w_6i_6+\dots+w_zi_z - H_{ClC} - H_{ЯClЯ} -H_{0l0}&=0;
 \end{aligned}$$

Величина потока нулевой последовательности:

$$\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = \Phi_0.$$

Магнитные потери учитываются с помощью активных сопротивлений, включенных параллельно соответствующим обмоткам.

Нелинейные свойства материала магнитопровода учитываются с помощью кусочно-линейной интерполяции заданной табличной функции основной кривой намагничивания электротехнической стали. Модель магнитной цепи, выполненная в пакете Simulink, представлена на рис. 2 [3].

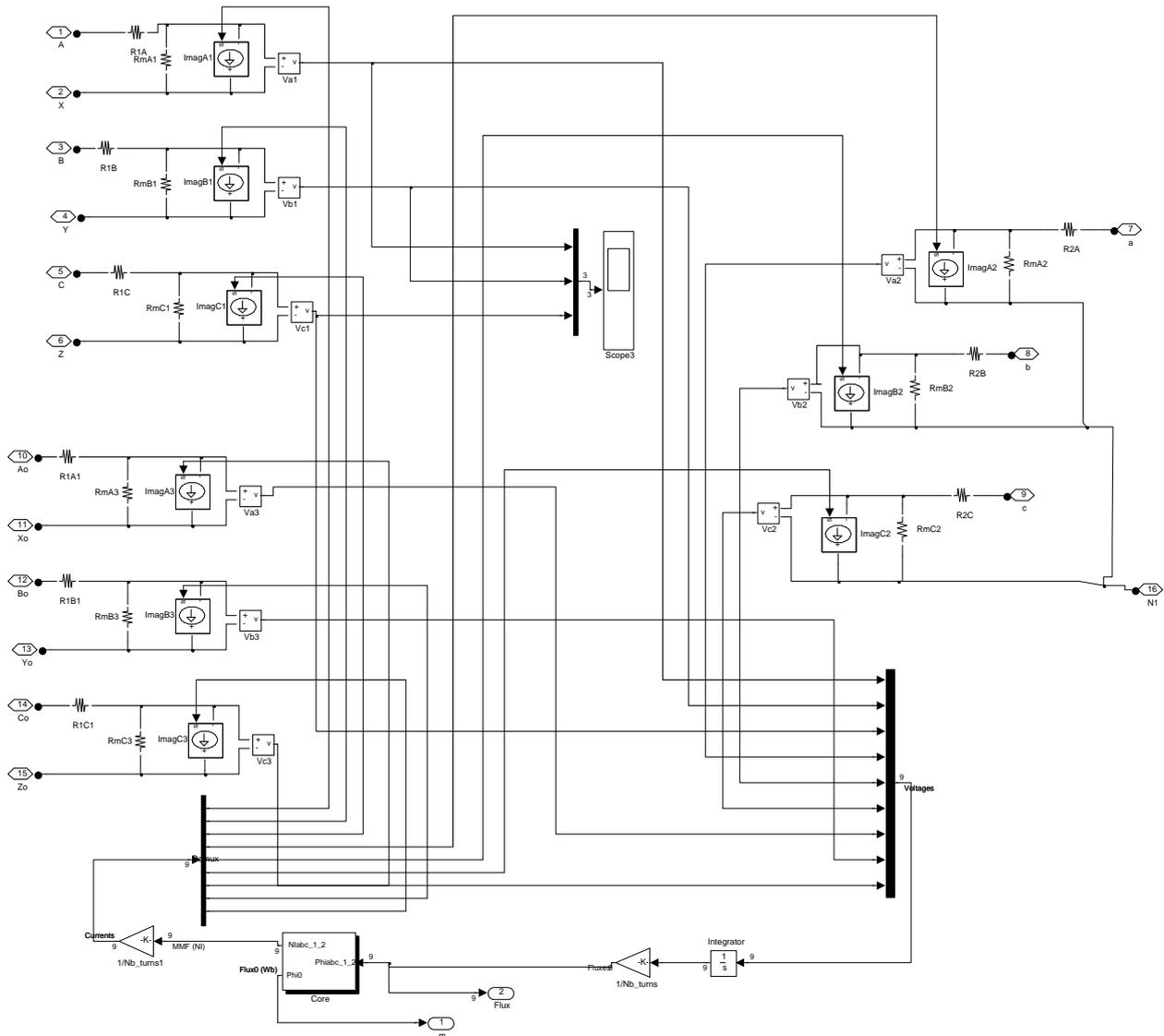


Рис. 3. Модель электрической системы трансформатора

В дополнение к системе нелинейных алгебраических уравнений составлена модель электрической системы (обмоток) трансформатора по следующим выражениям:

$$U_1 = L_{S1.1} \frac{di_1}{dt} + w_1 \frac{d\Phi_A}{dt} + R_1 i_1;$$

$$U_2 = L_{S2.2} \frac{di_2}{dt} + w_2 \frac{d\Phi_2}{dt} + R_2 i_2;$$

$$U_Y = L_{SY.Y} \frac{di_Y}{dt} + w_Y \frac{d\Phi_Y}{dt} + R_Y i_Y;$$

где U_n – напряжение соответствующей обмотки; $L_{Sm,m}$ – собственные индуктивности рассеяния обмоток; R_n – активные сопротивления обмоток; w_n – число витков обмоток (рис. 3).

Представленные выше уравнения представляют собой нелинейные дифференциальные уравнения электромагнитных связей трехфазного многообмоточного трансформатора. Модель параллельной работы трансформаторов представлена на рис. 4.

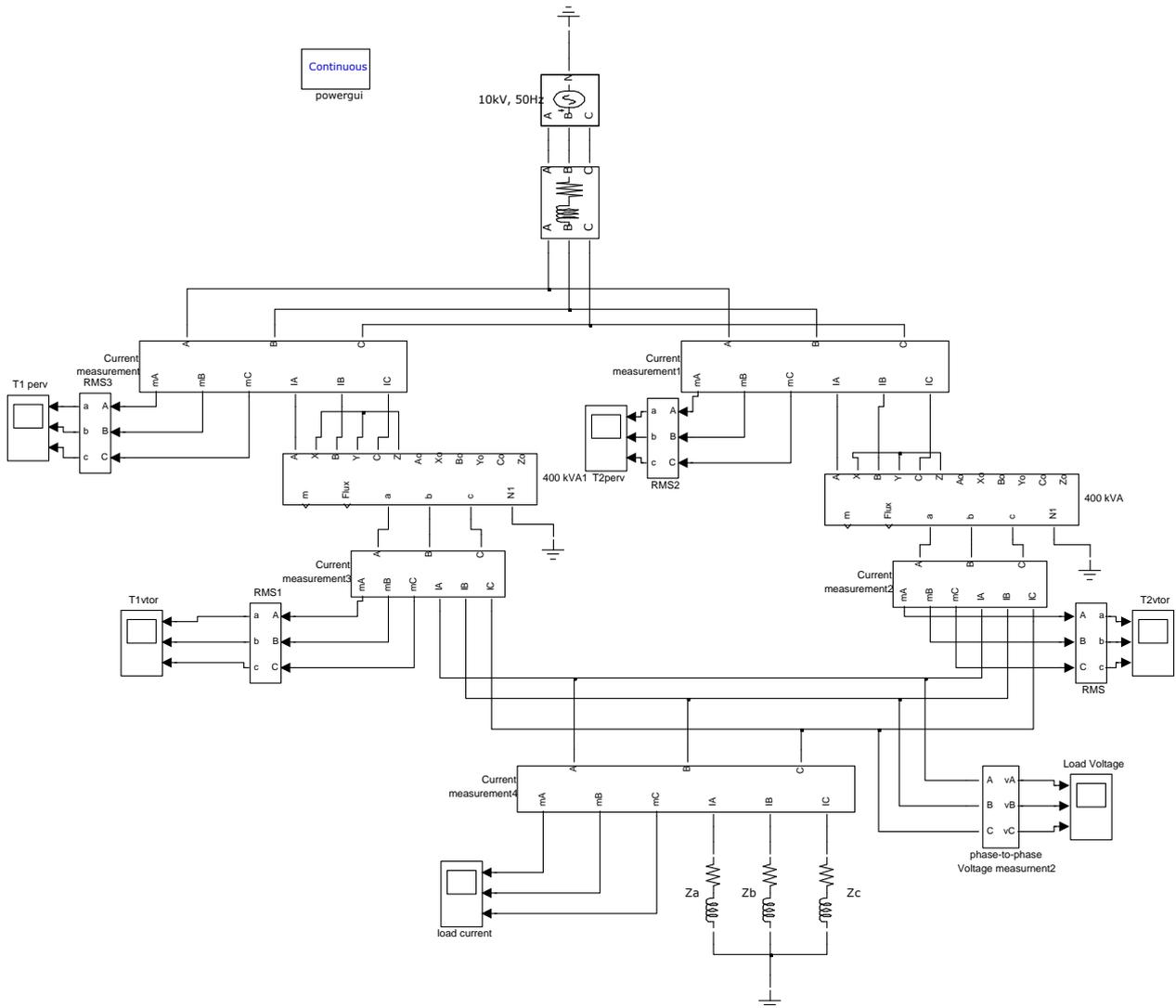


Рис. 4. Модель параллельной работы двух трансформаторов

С помощью разработанной модели были проведены исследования параллельной работы двух трехфазных трансформаторов ТС-400/10 с напряжениями короткого 4,6% и 5,5% соответственно. В результате проведенного моделирования измерены первичные и вторичные напряжения и токи трансформаторов, уравнительные токи, суммарные потери мощности в режиме холостого хода и под нагрузкой.

Выводы

1. Вследствие неравенства напряжений КЗ при параллельной работе трансформаторов имеет место неравномерное распределение нагрузки. Использование установленной мощности параллельно включенных трансформаторов составляет 91,8 %.
2. При пофазном регулировании вследствие неравенства коэффициентов трансформации возникают уравнительные токи, которые вызывают неравномерное распределение

нагрузки. Различие коэффициентов трансформации на $\pm 5\%$ вызывает уравнительный ток в обмотках до 55% от номинального фазного тока трансформатора.

Библиографический список

1. Алтунин, Б.Ю. Исследование несимметричных режимов работы трансформаторно-тиристорного регулятора напряжения и мощности / Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин, И.А. Карнавский // Промышленная энергетика. 2013. №12. С. 13–16.
2. Алтунин, Б.Ю. Исследование режимов работы нелинейного трехфазного трансформатора в пакете Simulink / Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин, В.В. Гуляев // Вестник волжской государственной академии водного транспорта. 2012. № 32. С. 195–198.
3. Кралин, А.А. Моделирование трансформаторов преобразовательных агрегатов в Simulink [Электронный ресурс] / А.А. Кралин, Б.Ю. Алтунин // Инженерный вестник Дона. 2014. №2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2362>

Дата поступления
в редакцию 15.12.2014

А.А. Kralin¹, I.V. Vorotyncev², V.V. Gulyaev²

RESEARCH OF PARALLEL OPERATION OF THREE-PHASE TRANSFORMERS WITH Y/Y0 WINDINGS CONNECTION AT PHASE BY PHASE REGULATION

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
Volga state academy of water transport²

Purpose: The research of parallel operation three-phase transformers with Y/Y0 winding connection.

Design/methodology/approach: Models are made in Simulink by means of structural scheme.

Findings: Model allows us to study electromagnetic processes of parallel operation of three-phase transformers at phase by phase control. Models consist of two parts: magnetic and electrical.

Key words: three-phase transformer, parallel operation, the method of symmetrical components, equivalent circuits, Simulink.

УДК 621.311

Г.Я. Вагин, Е.Б. Солнцев, А.С. Шевченко, О.Ю. Малафеев

МЕТОДИКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАНЖИРОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ «СОВОКУПНОЙ СТОИМОСТИ ВЛАДЕНИЯ»

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приведена методика экономического ранжирования осветительных приборов в зависимости от времени работы освещения в год. Выполнены расчеты для ретрофитных (обычных и галогенных ламп накаливания, компактных люминесцентных и светодиодных ламп) и линейных (офисных светильников с люминесцентными лампами, а также светодиодных светильников) осветительных приборов. Расчеты проведены для трех значений стоимости электроэнергии. Выявлены наиболее экономически эффективные источники внутреннего освещения для государственных учреждений и помещений жилого сектора.

Ключевые слова: ранжирование, электрическое освещение, совокупная стоимость владения, экономическая эффективность.

С появлением новых устройств возникает проблема их эффективного использования. Существующий европейский подход [1] базируется на определении наилучшего товара с точки зрения нескольких критериев: энергоэффективности, экологичности, качества и безопасности для здоровья человека. Однако такой подход не учитывает экономическую эффективность использования устройства и, соответственно, может привести к неоправданным затратам. Разумеется, для потребителя не так важна энергетическая эффективность, сколько экономическая.

Одним из важных экономических показателей функционирования любого устройства является совокупная стоимость владения. Стоимость владения определяет полные затраты на эксплуатацию изделия в течение определенного срока.

В качестве расчетного промежутка для определения величины стоимости владения была выбрана величина экономического срока эксплуатации оборудования. Для источников света этот срок равен 15 лет [2].

Стоимость владения на интервале равном экономическому сроку службы осветительного прибора (о. п.) определяется по выражению:

$$C_{\text{вл}} = C_{\text{о.п.}} + C_{\text{экс}} + C_{\text{эз}} \quad (1)$$

где $C_{\text{о.п.}}$ – стоимость осветительного прибора (о.п.), руб.; $C_{\text{экс}}$ – стоимость эксплуатации о.п. за весь экономический срок службы (затраты на замену ламп, вышедших из строя), руб.; $C_{\text{эз}}$ – стоимость потребленной электроэнергии, руб.

Стоимость эксплуатации осветительного прибора:

$$C_{\text{экс}} = N_{\text{л}} \cdot C_{\text{л}} \cdot \frac{T_{\text{г}}}{T_{\text{сл}}} \cdot 15 \quad (2)$$

где $C_{\text{л}}$ – стоимость лампы, руб.; $N_{\text{л}}$ – количество ламп в о.п., шт. $T_{\text{г}}$ – время работы системы освещения в год, ч; $T_{\text{сл}}$ – нормативный срок службы лампы, ч; 15 – экономический срок службы – промежуток времени, для которого определяются эксплуатационные затраты, лет.

При расчетах $C_{\text{экс}}$ необходимо использовать целую часть отношения $\frac{T_{\text{г}}}{T_{\text{сл}}} \cdot 15$ (без округления).

Стоимость потребленной электроэнергии рассчитывается по выражению:

$$C_{\text{эз}} = \Pi_{\text{эз}} \cdot W_{\text{эз}} = \Pi_{\text{эз}} \cdot P_{\text{о.п.}} \cdot T_{\text{г}} \cdot 15 \quad (3)$$

где $\Pi_{\text{эз}}$ – стоимость электроэнергии, руб./Вт·ч; $W_{\text{эз}}$ – объем электроэнергии, потребленной о.п. за экономический срок службы, Вт·ч; $P_{\text{о.п.}}$ – мощность о.п., Вт.

Таким образом:

$$C_{\text{вл}} = C_{\text{о.п}} + N_{\text{л}} \cdot C_{\text{л}} \cdot \frac{T_{\text{г}}}{T_{\text{сл}}} \cdot 15 + \Pi_{\text{ээ}} \cdot P_{\text{о.п}} \cdot T_{\text{г}} \cdot 15. \quad (4)$$

Для того чтобы привести светильники с различными лампами и со схожими световыми характеристиками к одинаковым условиям, определим удельную стоимость владения, разделив выражение (4) на световой поток о.п. $\Phi_{\text{о.п}}$.

$$\frac{C_{\text{вл}}}{\Phi_{\text{о.п}}} = \frac{C_{\text{о.п}}}{\Phi_{\text{о.п}}} + \frac{N_{\text{л}} \cdot C_{\text{л}}}{\Phi_{\text{о.п}}} \cdot \frac{T_{\text{г}}}{T_{\text{сл}}} \cdot 15 + \Pi_{\text{ээ}} \cdot \frac{P_{\text{о.п}}}{\Phi_{\text{о.п}}} \cdot T_{\text{г}} \cdot 15. \quad (5)$$

Т.к. отношение $\frac{C_{\text{о.п}}}{\Phi_{\text{л}}}$ представляет собой удельную стоимость $K_{\text{л}}$, а отношение $\frac{P_{\text{л}}}{\Phi_{\text{л}}}$ обратно пропорционально световой отдаче $K_{\text{со}}$, то выражение (5) можно представить в следующем виде:

$$C_{\text{уд.вл}} = C_{\text{уд.оп}} + C_{\text{уд.л}} \cdot \frac{T_{\text{г}}}{T_{\text{сл}}} \cdot 15 + \frac{\Pi_{\text{ээ}} \cdot T_{\text{г}} \cdot 15}{K_{\text{со.оп}}}. \quad (6)$$

Для анализа были выбраны следующие осветительные приборы:

1. Светильники с лампами накаливания (ЛН);
2. Светильники с галогенными лампами (ГЛН);
3. Светильники с компактными люминесцентными лампами (КЛЛ);
4. Светильники с люминесцентными лампами типа Т8 с галофосфатным люминофором и с электромагнитным ПРА (ЛЛ Т8 ЭМПРА);
5. Светильники с люминесцентными лампами типа Т8 с трех полосным люминофором и с электронным ПРА (ЛЛ Т8 ЭПРА);
6. Светильники с люминесцентными лампами типа Т5;
7. Светильники с ретрофитными светодиодными лампами (СД_{рет}) (лампы прямой замены ЛН);
8. Светодиодные светильники для прямой замены светильников с линейными ЛЛ (СД_{лин}).

Все осветительные приборы можно разделить на две группы:

- 1) лампы прямой замены ламп накаливания – ретрофитные о. п. (ЛН, ГЛН, КЛЛ, СД_{рет});
- 2) светильники с линейными люминесцентными лампами, и их светодиодные аналоги – линейные о.п. (офисные светильники с ЛЛ всех типов, а также СД_{лин}).

Для определения удельных показателей был проведен анализ характеристик о.п. различных производителей. Для ретрофитных о.п. в качестве эталона были выбраны ЛН мощностью 60 Вт, для линейных - офисные люминесцентные светильники размером 595x595 мм.

Согласно [3], а также проведенному анализу характеристик как отечественных, так и зарубежных о.п., были получены средние значения удельных показателей, а также срок службы ламп. Результаты представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Удельные показатели ретрофитных о.п.

Осветительный прибор	Светоотдача, $K_{\text{со.оп}}$, лм/Вт	Удельная стоимость, $C_{\text{уд.оп}}$, руб./лм	Срок службы, $T_{\text{сл}}$, ч
ЛН	12	0,02	1000
ГЛН	15	0,14	2000
КЛЛ	56	0,28	8000
СД _{рет}	79	0,58	25000

Примечание. Для данных о.п. $C_{\text{уд.оп}}$ и $C_{\text{уд.л}}$ равны.

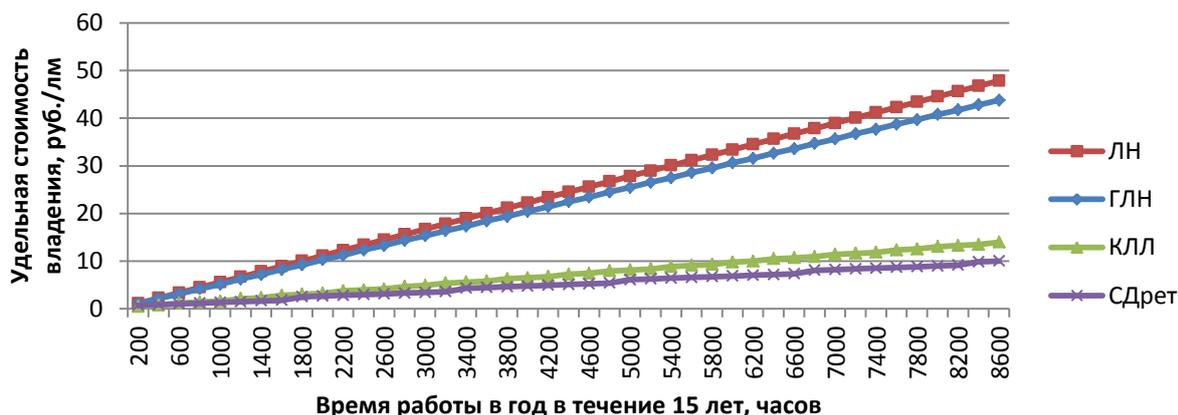
Таблица 2

Удельные показатели линейных офисных о.п.

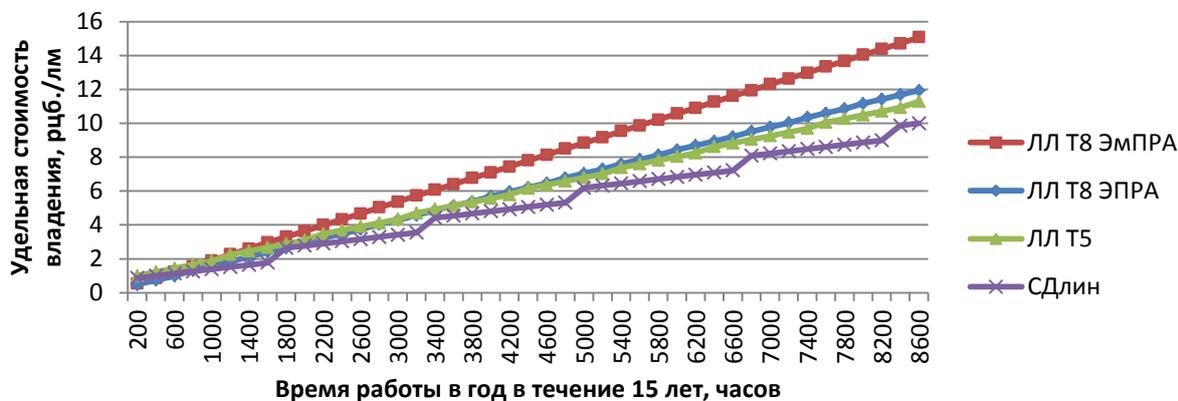
Осветительный прибор	Лампа		Светильник		Срок служб, $T_{сл}$, ч
	Светоотдача $\text{ч} \cdot K_{со.л}$, лм/Вт	Удельная стоимость, $C_{уд.л}$, руб./лм	Светоотдача, $K_{со.оп}$, лм/Вт	Удельная стоимость, $C_{уд.оп}$, руб./лм	
ЛЛ Т8 ЭМПРА	62	0,04	36	0,19	8000
ЛЛ Т8 ЭПРА	73	0,06	47	0,22	12000
ЛЛ Т5	88	0,16	56	0,80	16000
СД _{лин}	-	-	93	0,74	25000

Примечание. СД_{лин} представляет собой неразборный светильник. В расчете (6) $C_{уд.л}$ принимается равной $C_{уд.оп}$

Подставив в выражение (6) значения из табл. 1 и 2, а также изменяя время работы системы освещения в год, была получена зависимость удельной стоимости владения о.п. от времени работы системы освещения за 15 лет (рис. 1). Стоимость электроэнергии принята равной 4 руб./кВт·ч.



а)



б)

Рис. 1. Удельная стоимость владения осветительных приборов: а – ретрофитных; б – линейных офисных

Из рис. 1 следуют выводы:

1. Светильники с ЛН и ГЛН являются экономически неэффективными независимо от времени работы системы освещения.

2. Среди ретрофитных о.п., при работе системы освещения до 500 часов в год рекомендуется использовать лампы типа КЛЛ. При работе системы освещения более 500 часов в год рекомендуется использовать $СД_{рет}$ для прямой замены ламп накаливания.

3. Светильники с люминесцентными лампами типа Т8 с ЭмПРА являются экономически неэффективными независимо от времени работы системы освещения.

4. При работе системы освещения до 800 часов в год экономическая эффективность ЛЛ типа Т8 с ЭПРА превышает эффективность других о.п. Начиная с 800 часов светодиодные светильники $СД_{лин}$ являются более эффективными.

Аналогичный расчет был проведен при стоимости электроэнергии 2,0 руб./кВт·ч и 6,0 руб./кВт·ч. В результате, для ретрофитных о.п. выводы остаются неизменными; для линейных – при стоимости 2 руб./кВт·ч светодиоды теряют свою позицию в пользу светильников с ЛЛ типа Т8 с ЭПРА, а при стоимости 6 руб./кВт·ч выводы аналогичны выводам при стоимости 4 руб./кВт·ч.

Библиографический список

1. www.topten.eu
2. Энергосбережение в бюджетной сфере: учеб. пособие для энергоменеджеров. – Н. Новгород, 2014.
3. Энергоэффективное электрическое освещение: учеб. пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Памфилов, В.Д. Поляков и др.; под ред. Л.П. Варфоломеева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 288 с.

*Дата поступления
в редакцию 15.12.2014*

G. Ya. Vagin, E.B. Solntsev, A. S. Shevchenko, O. Yu. Malafeev

METHODOLOGY OF THE ILLUMINANTS ECONOMIC RANKING BASED ON TOTAL COST OF OWNERSHIP

Nizhny Novgorod state technical university n.a. Alexeev

This is the methodology of the illuminants economic ranking which relates to lighting operating time per year. The calculations were made for Incandescent lamps, halogen lamps, compact fluorescent lamps, office luminaries with fluorescent lamps and LEDs. The calculations are made for three values of the electricity cost. The most cost-effective sources for interior lighting of state institutions and residential sector are identified.

Key words: ranking, electric lighting, total cost of ownership, economic efficiency.

УДК 621.3.016.31

Д.Н. Лапаев, Д.С. Мочалин, В.Г. Титов

**УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА
КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Начиная с 2000 г. в ОАО «Газпром» вопросы энергоэффективности и энергосбережения являются приоритетным направлением деятельности, и представляют собой комплекс программных мер, направленных на рациональное использование и экономию расхода топливно-энергетических ресурсов.

Прогнозирование и планирование электропотребления на компрессорной станции является неотъемлемой частью экономии потребления топливно-энергетических ресурсов. Основными потребителями электроэнергии на компрессорной станции с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами являются электродвигатели с короткозамкнутым ротором аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа.

Поиск наилучшей регрессионной модели представляет собой довольно громоздкий процесс. Используются нейронных сетей, которые обладают рядом преимуществ перед регрессионными моделями: сами подбирают вид функциональной зависимости по экспериментальным данным и являются адаптивной моделью, которая подстраивает структуру сети под новые наблюдения и позволяет объяснить довольно сложные связи между значениями расхода электроэнергии и показателями магистрального газопровода.

Ключевые слова: компрессорная станция; аппарат воздушного охлаждения газа; прогнозирование; нейронные сети.

Начиная с 2000 г. в ОАО «Газпром» вопросы энергоэффективности и энергосбережения являются приоритетным направлением деятельности, и представляют собой комплекс программных мер, направленных на рациональное использование и экономию расхода топливно-энергетических ресурсов [1].

Планирование электропотребления на компрессорной станции является неотъемлемой частью экономии потребления топливно-энергетических ресурсов. Потребителями электроэнергии на компрессорной станции (КС) с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами являются электродвигатели с короткозамкнутым ротором: маслонасосов, пожарных насосов, компрессоров, вентиляторов общеобменной вентиляции, вентиляторов воздушного охлаждения газа и запорно-регулирующей аппаратуры.

Объектом исследования являются проектируемые компрессорные станции на участке «Петровск-Писаревка» магистральный газопровод «Уренгой-Новопсков» (КС «Петровск», КС «Екатериновка», КС «Балашов», КС «Бубновка», КС «Калач»). Провели расчеты основных показателей расхода электроэнергии на компрессорных станциях. На основании расчетов построен график (рис. 1) для оценки потребления электроэнергии АВО газа и компрессорной станции в целом. Анализ величины расхода электроэнергии показывает, что основным потребителем электроэнергии на компрессорной станции с газотурбинными перекачивающими агрегатами и в газотранспортной системе в целом является электропривод аппарата воздушного охлаждения газа. Охлаждение газа является наиболее энергоемким процессом (от 22 % и до 48 % расхода электроэнергии на компрессорной станции с газотурбинными перекачивающими агрегатами).

Работа выполняется в рамках государственного задания Министерства образования и науки России № 8.2668.2014/К.

Энергетическая эффективность АВО газа может быть оценено из уравнения теплового баланса тепловых потоков:

$$G_{п.р.п}(T_{1АВО} - T_{2АВО}) = G_{в.р.в}(T_2 - T_1), \quad (1)$$

где $G_{п}$ - массовый расход охлаждаемого продукта в АВО газа, кг/с; T_1 - температура воздуха, К; T_2 - температура воздуха после прохождения АВО газа, К; $c_{р,п}$ - удельная теплоемкость газа для расчетного режима работы АВО, кДж/(кг·К), вычисляются по формуле:

$$c_{р,п} = 1,695 + 1,838 \cdot 10^{-3} \cdot T_{АВОср} + 1,96 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{P_{АВОср} - 0,1}{T_{АВОср}^3},$$

$$T_{АВОср} = \frac{T_{1АВО} + T_{2АВО}}{2},$$

$$P_{АВОср} = \frac{P_{1АВО} + P_{2АВО}}{2},$$
(2)

где $T_{1АВО}$ - температура газа на входе в АВО газа, К; $T_{2АВО}$ - температура газа на выходе в АВО газа, К; $P_{1АВО}$ - давление газа на входе в АВО газа, МПа; $P_{2АВО}$ - давление газа на выходе в АВО газа, МПа; $c_{р,в}$ - удельная теплоемкость воздуха, справочные данные, кДж/(кг·К); $G_{в}$ - массовый расход воздуха, кг/с, определяется по формуле:

$$G_{в} = V_{в} \rho_{в},$$
(3)

где $\rho_{в}$ - плотность воздуха, зависит от температуры окружающей среды, справочные данные, кг/м³.

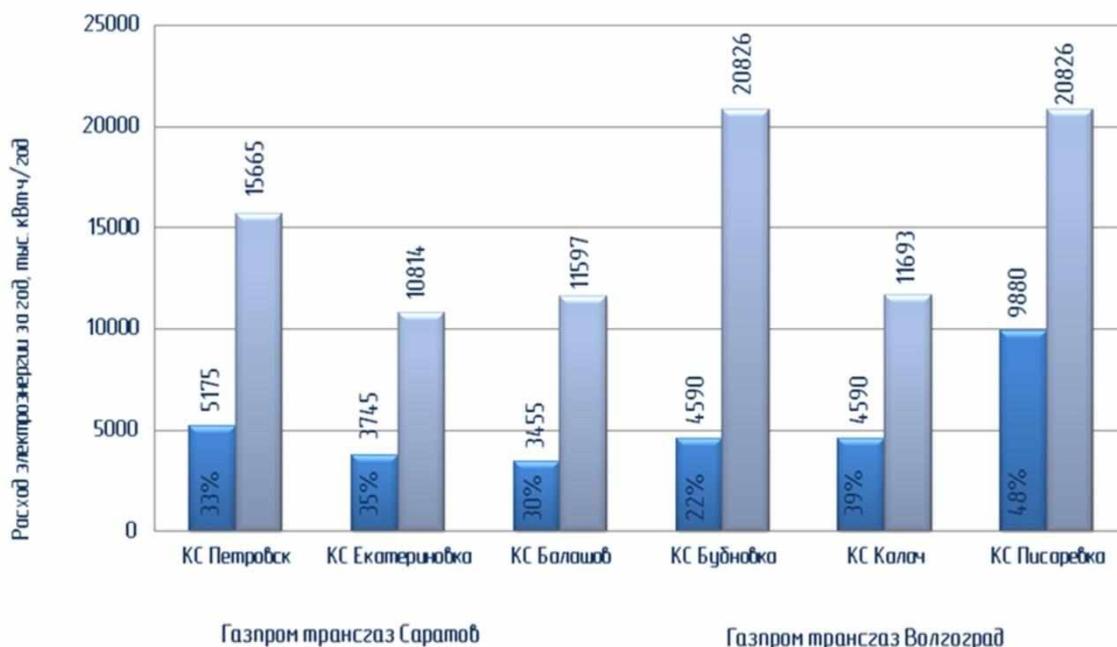


Рис. 1. Расход электроэнергии за год компрессорной станцией и АВО газа в абсолютном и процентном отношении

Проанализировав вышеуказанные уравнения, можно записать следующее уравнение:

$$E_{АВО} = Q_T(V_{в}, w_{в}, T_1),$$
(4)

где $Q_T(V_{в}, w_{в}, T_1)$ - тепловая нагрузка АВО, которая является функцией объемного расхода воздуха $V_{в}$, скорости воздуха в узком сечении теплообменных секций $w_{в}$ и температуры наружного воздуха T_1 . Из перечисленного следует, что на потребление электрической энергии влияют следующие факторы:

- конструктивные и эксплуатационные характеристики теплообменных секций АВО и вентиляторов;
- технические характеристики электродвигателей;
- технические характеристики трансформатора и кабельной линии;

- технические характеристики коммутационно-регулирующей аппаратуры;
- алгоритм управления электродвигателями вентиляторов при изменении режимных параметров охлаждаемого продукта.

Автоматизация управления процессом охлаждения АВО газа позволит:

- минимизировать суммарное включение электродвигателей и общей продолжительности их работы в установившемся режиме;
- уменьшить потребление электроэнергии, возможность снижения 10–15%.

Применение системы стабилизации температуры газа с регулируемым приводом вентиляторов в общем случае может быть представлена структурной схемой, которая показана на рис. 2. Объектом управления являются теплообменные секции, через которые проходит охлаждаемый газ. Начальная температура газа $T_{вх}$, его массовый расход G_n , а также температура охлаждающего воздуха T_1 являются возмущающими воздействиями. Частоты вращения ω_k вентиляторов, определяющие массовые расходы воздуха $G_{вк}$, служат управляющими воздействиями в системе стабилизации температуры $T_{вых}$. На рис. 2 представлена структурная схема управления.

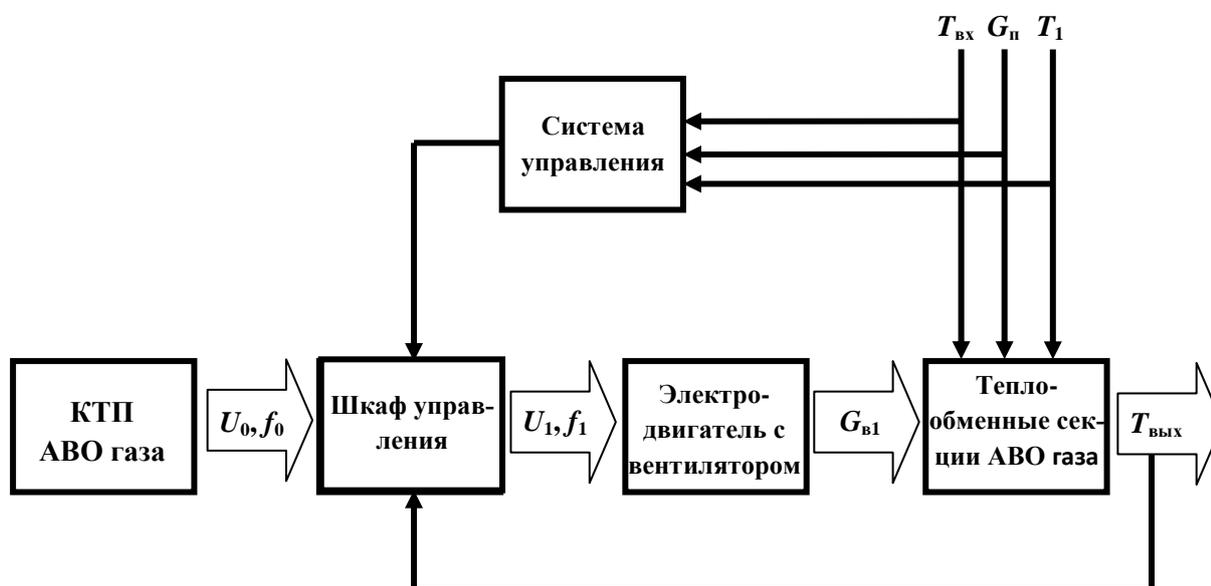


Рис. 2. Структурная схема управления АВО газа

Недостатком представленной структурной схемы является отсутствие оценки воздействия внешней и внутренней среды в полном объеме. Так, изменение температуры окружающей среды влияет на температурные параметры транспортируемого газа, изменение же параметров газа в газопроводе при его движении зависит от температуры грунта, от степени сжатия на компрессорной станции, температуре на входе и на выходе компрессорной станции, пропускной способности магистрального газопровода, режима работы аппаратов воздушного охлаждения газа. Авторами выполнена оценка вышеуказанной структурной схемы управления. Неопределенность воздействия внешней и внутренней среды трубопроводной системы делает задачу автоматизации электротехнического комплекса, а именно АВО газа, частью сложного процесса при транспортировке газа.

С нашей точки зрения эффективным решением является использование в структурной схеме управления АВО газ блока искусственных нейронных сетей (ИНС) с выводом данных по управлению электротехническим комплексом (АВО газа). Привлекательность применения ИНС состоит в возможности использования большого числа выходных параметров, что является для представления информационной модели на основе данных наблюдения над реальной системой.

Архитектурой ИНС является многослойный перцептрон с двумя скрытыми слоями. В этом случае нейронная сеть представлена в следующем виде:

$$\widehat{W}(t) = f_3 \left(w_{30} + \sum_{k=1}^K w_{3k} f_2 \left(w_{20m} + \sum_{m=1}^M w_{2m} f_1 \left(w_{10i} + \sum_{i=1}^n w_{1i}(t) \right) \right) \right), \quad (5)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ – число нейронов входного слоя; $m = 1, 2, \dots, M$ – число нейронов первого скрытого слоя; $k = 1, 2, \dots, K$ – число нейронов второго скрытого слоя; f_1, f_2, f_3 – функции активации нейронов первого и второго слоев; w_{10}, w_{20m}, w_{30} – начальное возбуждение i -го, k -го нейрона первого и второго скрытого и входного слоев; $x_i(t)$ – i -я координата входного вектора.

В многослойном перцептроне значения независимых переменных поступает на нейроны входного слоя, от которого сигнал передается на нейроны скрытого слоя, а затем поступают на выходные нейрон.

Функция активации нейронов скрытого слоя - гиперболический тангенс (tansig); выходного слоя - линейная функция (purelin). Предполагается, что функции активации нейронов одного слоя одинаковые. Для обучения искусственной нейронной сети используется алгоритм LM Левенберга – Марквардта, данный алгоритм реализует оценку матрицы Гессе. Алгоритм LM использует аппроксимацию гессиана. Когда коэффициент μ равен 0, получаем метод Ньютона с приближением гессиана в форме $H \cong J^T J$, когда значение μ велико, получаем метод градиентного спуска с маленьким шагом. Алгоритм обучения действует итеративно, и его шаги называют эпохами. Процедура обучения представляет собой отображение множества экспериментальных данных на множество параметров (весовых коэффициентов) нейросетевой модели с целью получения оптимального в силу некоторого критерия, выходного сигнала. Для набора данных обучения вектор синаптических весов w можно вычислить путём минимизации функции стоимости по w :

$$E_c(w) = \frac{1}{2N} \sum_t (Y(t) - F(X(t), w))^2, w \in W. \quad (6)$$

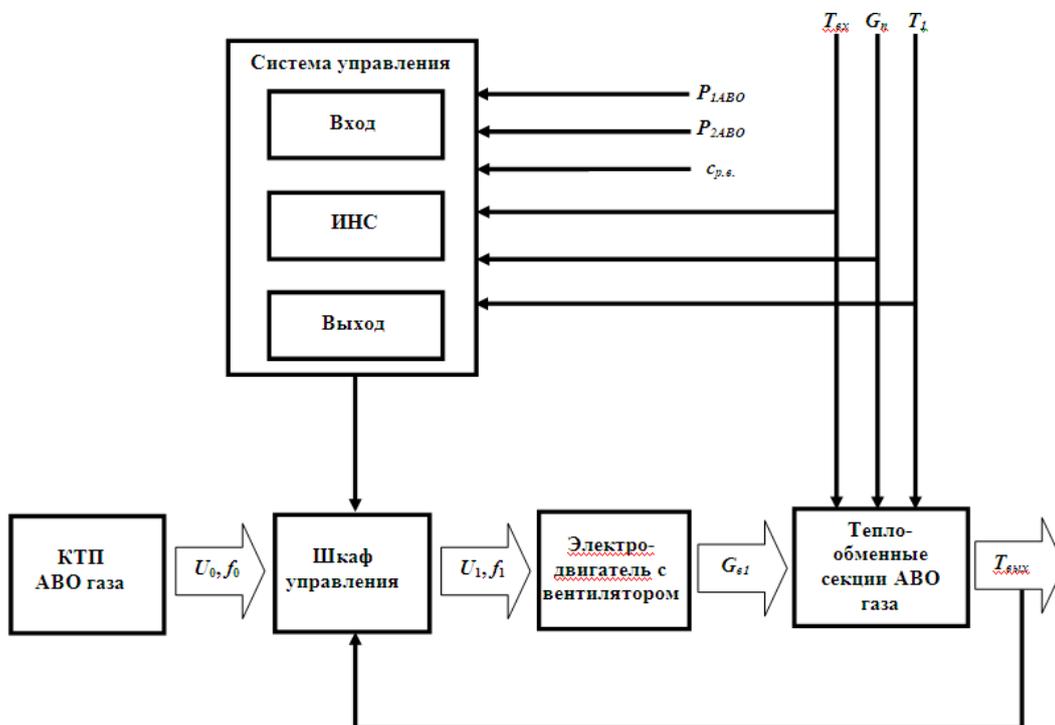


Рис. 3. Структурная схема управления АВО газа

Структурную схему управления электроприводом АВО газа предлагается выполнить в следующем виде, см. рис. 3. Техническим результатом, достигаемым при осуществлении

данной схемы управления, является обеспечение устойчивой работы системы, требуемого качества регулирования температуры охлаждаемой среды в широком диапазоне изменений климатических условий эксплуатации, режимов транспортировки охлаждаемого продукта, с учетом прогнозирования расхода топливно-энергетических ресурсов.

Библиографический список

1. **Рубцова, И.Е.** Основные направления и задачи энергосбережения при реконструкции КС. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / И.Е. Рубцова, Д.С. Мочалин, О.В. Крюков; под ред. О.В.Крюкова. – Н.Новгород: Вектор ТиС. 2012. Т. 3. – 572 с.
2. **Иглин, С.П.** Математические расчеты на базе MATLAB / С.П. Иглин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 640 с.
3. **Мочалин, Д.С.** Современные принципы построения схем электроснабжения аппаратов воздушного охлаждения газа // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 9(16). С. 100–102.
4. **Mochalin, D.S.** Invariant control system of the gas air cooled heat exchangers / D.S. Mochalin, V.G. Titov // Science, Technology and Higher Education, 2013, P. 391–396 – Режим доступа: [http:// science-canada.com/ru/archive.php](http://science-canada.com/ru/archive.php) (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

*Дата поступления
в редакцию 15.12.2014*

D.N. Lapaev, D.S. Mochalin, V.G. Titov

DIRECTION OF THE AIR COOLED HEAT EXCHANGER OF GAS ON THE COMPRESSOR STATION

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Search of the best regression model represents quite bulky process.

Design / methodology / approach: Forecasting and power consumption planning at compressor station (CS) is an integral part of economy of consumption of fuel and energy resources.

Results: Developed a direction system of the air cooled heat exchanger of gas on the compressor station.

Restrictions/values of research: Energy efficiency and energy saving are priority activity, and represents a complex of the program measures directed on rational use and economy of an expense of fuel and energy resources.

Novelty/value: Use of neural networks which possess a number of advantages before regression models: select a type of functional dependence for experimental data and are adaptive model which arranges network structure under new supervision and allows to explain quite difficult communications between values of an expense of the electric power and indicators of the main gas pipeline.

Key words: compressor station; air cooled heat exchanger (ACHE) of gas; forecasting; neural networks.

УДК 621.3.016.31

Л.С. Ломакина, Д.Г. Садиков, В.Г. Титов

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты исследования частотно-регулируемого электропривода газоперекачивающего агрегата на базе многоуровневого инвертора напряжения. Рассмотрены влияния преобразователя частоты на питающую сеть и электродвигатель. Построена модель и произведены расчеты параметров высоковольтного частотно-регулируемого электропривода, системы управления. Результаты моделирования показали высокую эффективность применения многоуровневой топологии построения силовой части высоковольтного инвертора для электроприводного газоперекачивающего агрегата.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, частотно-регулируемый преобразователь, многоуровневый инвертор напряжения, питающая сеть, система управления.

В настоящее время и в обозримом будущем приоритетом мирового уровня в различных областях человеческой деятельности представляется экономия энергетических ресурсов. Потребление энергетических ресурсов является одной из основных статей затрат в производственной деятельности газотранспортного предприятия.

Реконструируемые в настоящее время электроприводные компрессорные станции были введены в эксплуатацию в основном в 80-х годах прошлого века. Электротехническое и технологическое оборудование, системы автоматизации технологических процессов морально и физически устарели. Старые газоперекачивающие агрегаты имеют ограниченные возможности по регулировке их производительности.

Эти обстоятельства не только приводят к более высоким затратам на транспортировку газа, но и снижают надежность и безопасность системы.

Основной задачей при создании проектов реконструкции электроприводных компрессорных станций является повышение надежности, экономичности транспорта газа, перевод производственных объектов газопровода на более высокий уровень автоматизации, внедрение малолюдных технологий, улучшение условий труда обслуживающего персонала и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Проектом в большинстве случаев предусматривается замена существующих электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭПА) на современные комплектные ЭПА. В состав такого агрегата входят система плавного пуска и регулирования частоты вращения ротора магнетателя, магнитный подвес роторов электродвигателя и центробежного магнетателя, агрегатная система управления. Активно применяются системы газодинамических уплотнений магнетателя, что позволяет отказаться от маслохозяйства и уменьшить эксплуатационные расходы.

В результате проекта реконструкции КС одним из основных преимуществ в области энергосберегающих технологий является применение в составе ЭПА частотно-регулируемых приводов на основе асинхронных электродвигателей и полупроводниковых преобразователей частоты. Данная система позволяет значительно снизить потребление электрической энергии КС.

Выбор в пользу технологии применения частотно-регулируемых электроприводов делается ввиду того, что данная технология является наиболее экономически эффективной при

эксплуатации магистральных газопроводов, работающих в переменных технологических режимах перекачки газа.

Кроме прямого эффекта от исключения непроизводительных затрат энергии при регулировании с использованием поворотно-направляющих аппаратов, дополнительный эффект при использовании частотно-регулируемого электропривода обеспечивается высоким значением КПД самого нагнетателя, оптимальным во всех режимах работы.

Применение частотно-регулируемого привода также позволяет уменьшить износ основного технологического оборудования КС.

ЭГПА является сложной и дорогой электромеханической системой. Технологически, транспорта газа – сложный и ответственный процесс, не допускающий остановов, простоев и аварийных ситуаций. Учитывая эти два фактора, поиск оптимальных режимов работы ЭГПА на объекте строительства или реконструкции является непростой и рискованной задачей, для решения которой не всегда есть соответствующие возможности. Учитывая эти факторы, можно сказать, что моделирование регулируемого ЭГПА на стадии проектирования является перспективным способом определения оптимальных режимов работы агрегата в заданных условиях газотранспортной системы. Это позволит во многом избежать трудностей при пусконаладке ЭГПА на объекте, уменьшить количество невынужденных остановов агрегата и нарушений работы газотранспортной системы. Моделирование также позволяет опробовать и отработать новые технические решения, без необходимости создания сложного и дорогого прототипа.

Как уже отмечалось в [1], наиболее перспективной топологией преобразователя частоты для ЭГПА на сегодняшний день является топология многоуровневого инвертора напряжения с каскадным соединением инверторных ячеек в каждой фазе.

Состав многоуровневого инвертора напряжения

Силовая схема каскадного многоуровневого инвертора может содержать от трех до десяти инверторных ячеек (рис. 1), включенных последовательно в каждую фазу.

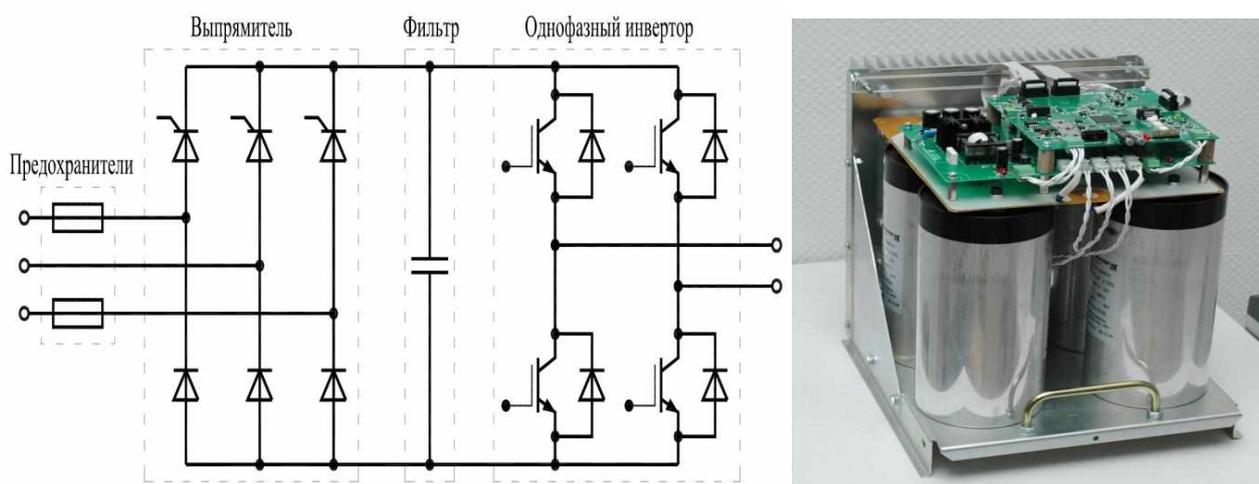


Рис. 1. Ячейка многоуровневого инвертора

Исследуемая схема для ЭГПА мощностью 9,1 МВт (см. рис. 2) содержит пятнадцать симметричных инверторных ячеек, по пять последовательно соединенных ячеек в каждой фазе. Такое подключение обеспечивает на зажимах электродвигателя линейное напряжение 5650 В. Инверторные ячейки запитываются каждая от отдельной вторичной обмотки входного многообмоточного трансформатора, соединенной в зигзаг для обеспечения необходимого

фазового сдвига для формирования уровней выходного напряжения. Входной трансформатор многоуровневого инвертора напряжением первичной обмоткой подключается к трехфазной сети переменного напряжения 10 кВ промышленной частоты 50 Гц.

Действующее напряжение каждой инверторной ячейки определяется соотношением:

$$U_{2n} = \frac{U_{л}}{k * \sqrt{3}}, \quad (1)$$

где k – количество ячеек в фазе.

Фазное напряжение на нагрузке формируется путем суммирования напряжений последовательно соединенных инверторных ячеек.

Угол сдвига вектора вторичного напряжения n -ной обмотки определяется по следующему выражению:

$$\varphi = \frac{60}{k} \cdot n_1, \quad (2)$$

где $n_1 = 1, 2, 3, \dots, \frac{k-1}{2}$.

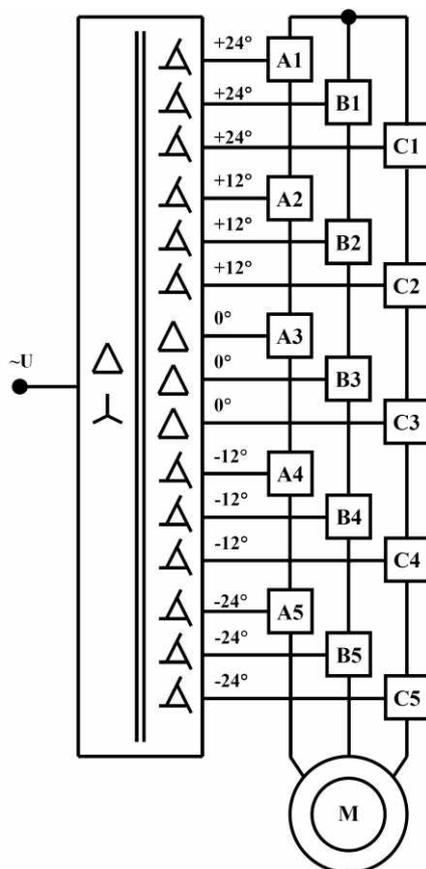


Рис. 2. Структурная схема силовой части многоуровневого инвертора напряжения

Моделирование многоуровневого инвертора напряжения в системе MATLAB

MatLab-модель ЭГПА (рис. 3) включает следующие элементы:

- трехфазный источник синусоидального напряжения, имитирующий трехфазную промышленную сеть на напряжение 10 кВ, частотой 50 Гц при полной мощности трехфазного короткого замыкания 300 МВА (Three-Phase Power Grid);
- многообмоточный трансформатор (Multi_Winding Transformer);
- инверторные ячейки H-bridge (A1-A5, B1-B5, C1-C5);

- блок, моделирующий резистивное сопротивление протяженной кабельной линии от преобразователя до зажимов электродвигателя (Three-Phase Cable Resistance);
- специализированный трехфазный асинхронный высокоскоростной электродвигатель мощностью 9,1 МВт на напряжение 5650 В (Asynchronous Machine);
- три блока формирования ШИМ для инверторных ячеек соответствующих фаз (PWM_A, PWM_B, PWM_C).

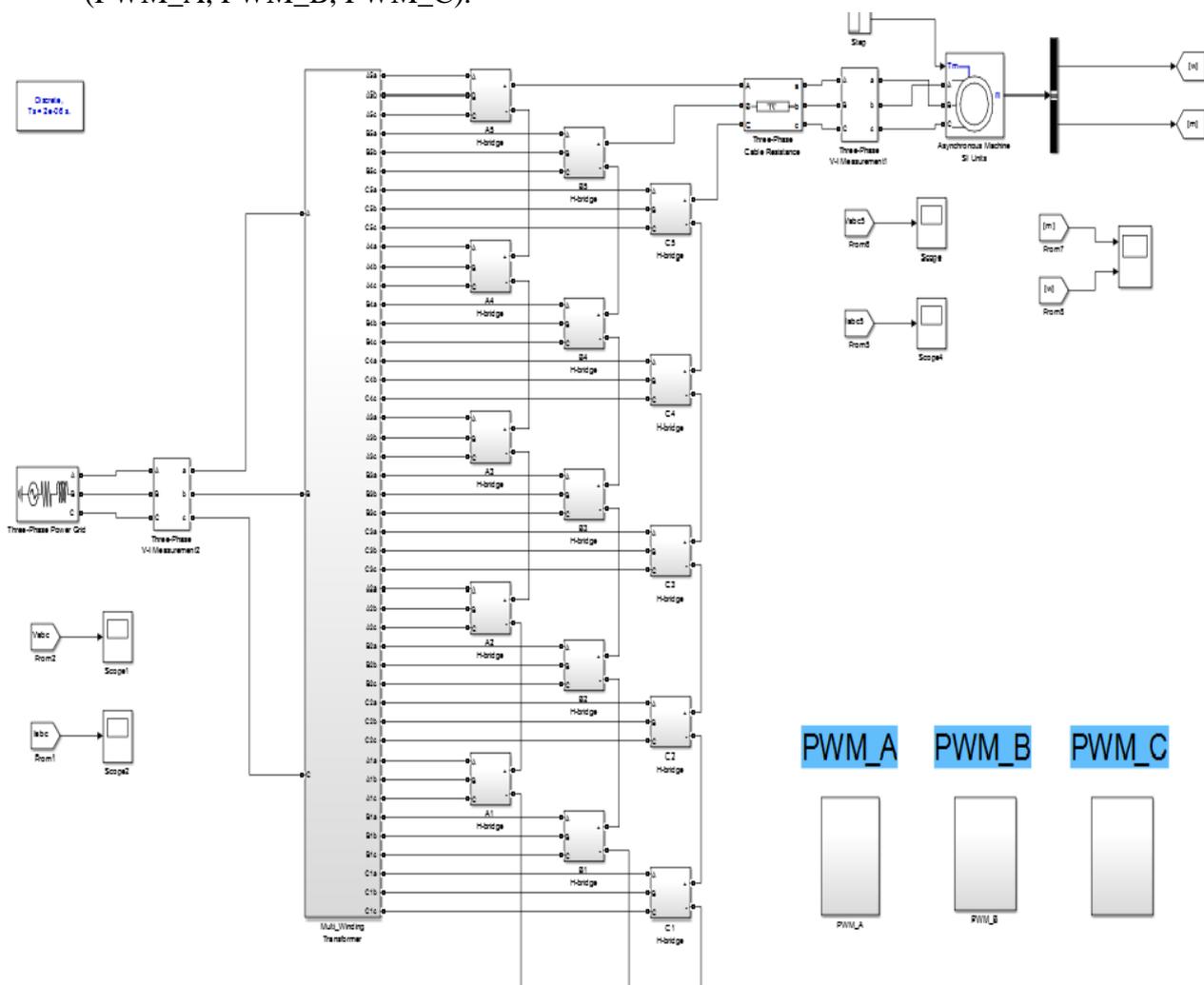


Рис. 3. MatLab-модель ЭГПА на базе многоуровневого инвертора напряжения

Многообмоточный трансформатор построен с помощью соединения стандартных блоков Zigzag Fase-Shifting Transformer с заданием необходимого фазового сдвига каждой вторичной обмотки.

MatLab-модель системы управления состоит из блока задания скорости и блока управления инвертором. Используется принцип векторного управления [2]. Система блока расчета сигналов управления инвертором состоит из регулятора скорости, регулятора потоко-сцепления ротора и блока вычисления задания фазных напряжений.

Регулятор скорости представляет собой ПИ-регулятор, на входы которого поступают сигналы задания скорости и сигнал обратной связи по скорости ротора электродвигателя ЭГПА.

Значения токов по продольной и поперечной осям I_d и I_q получаем при помощи блока abc_to_dq Transformation, на вход которого подаются сигналы обратной связи по фазным

токам статора и рассчитанные значения синуса и косинуса угла положения вектора потокосцепления ротора

$$I_q = \frac{2}{3} \cdot \left[i_a \cdot \cos \theta + i_b \cdot \cos \left(\theta - \frac{2 \cdot \pi}{3} \right) + i_c \cdot \cos \left(\theta + \frac{2 \cdot \pi}{3} \right) \right], \quad (3)$$

$$I_d = \frac{2}{3} \cdot \left[i_a \cdot \sin \theta + i_b \cdot \sin \left(\theta - \frac{2 \cdot \pi}{3} \right) + i_c \cdot \sin \left(\theta + \frac{2 \cdot \pi}{3} \right) \right].$$

Угол положения вектора потокосцепления ротора находится по выражению

$$\theta = \int (\omega_r + \omega_m) dt, \quad (4)$$

где

$$\omega_r = \frac{L_{M*} \cdot I_q}{T \cdot \Psi_r} \quad (5)$$

– скорость вращения ротора; ω_m – механическая скорость ротора.

Токи задания рассчитываются по выражениям

$$I_{q*} = \frac{\Psi_r}{L_{M*}}, \quad (6)$$

$$I_{d*} = \frac{(L_{M*} + L'_{2*}) \cdot \Psi_r}{L_{M*} \cdot T_{e*}}.$$

Рассчитанные токи управления I_{d_reg} , I_{q_reg} получаются в соответствующих блоках, представляющих собой дискретные ПИ регуляторы.

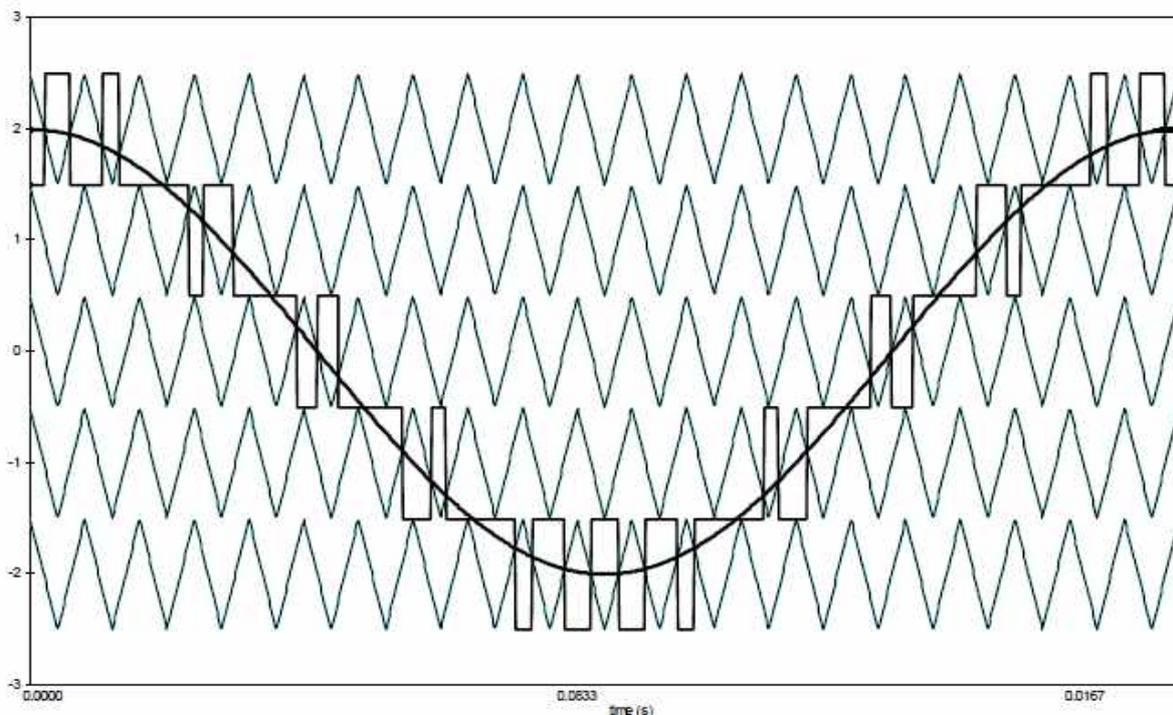


Рис. 4. Принцип формирования импульсов управления транзисторами одной фазы

Сигналы управления инвертором рассчитываются выполнением обратного перехода от системы координат dq в abc .

$$u_{a_reg} = I_{d_reg} \cdot \sin \theta + I_{q_reg} \cdot \cos \theta,$$

$$u_{b_reg} = 0.5 \cdot [(\sqrt{3} \cdot \sin \theta - \cos \theta) \cdot I_{q_reg} - (\sin \theta + \sqrt{3} \cdot \cos \theta) \cdot I_{d_reg}], \quad (7)$$

$$u_{c_reg} = -u_{a_reg} - u_{b_reg}.$$

Блоки формирования и распределения импульсов управления (PWM_A, PWM_B, PWM_C) представляют собой ШИМ генераторы, передающие импульсы управления транзисторами H-мостовых ячеек соответствующего уровня. Формирование импульсов управления транзисторами каждой фазы происходит сравнением пяти уровней пилообразного опорного напряжения и одной синусоидальной огибающей, заданной частоты, как показано на рис. 4.

Результат работы MatLab-модели ЭГПА

Синтезированная MatLab-модель ЭГПА позволяет в реальном времени проводить исследования статических и динамических режимов работы ЭГПА, переходных процессов, происходящих в системе. На рис. 5 представлены осциллограммы электромагнитного момента на валу ЭГПА и скорости вращения ротора при разгоне электродвигателя до номинальной скорости и набросе статической нагрузки.

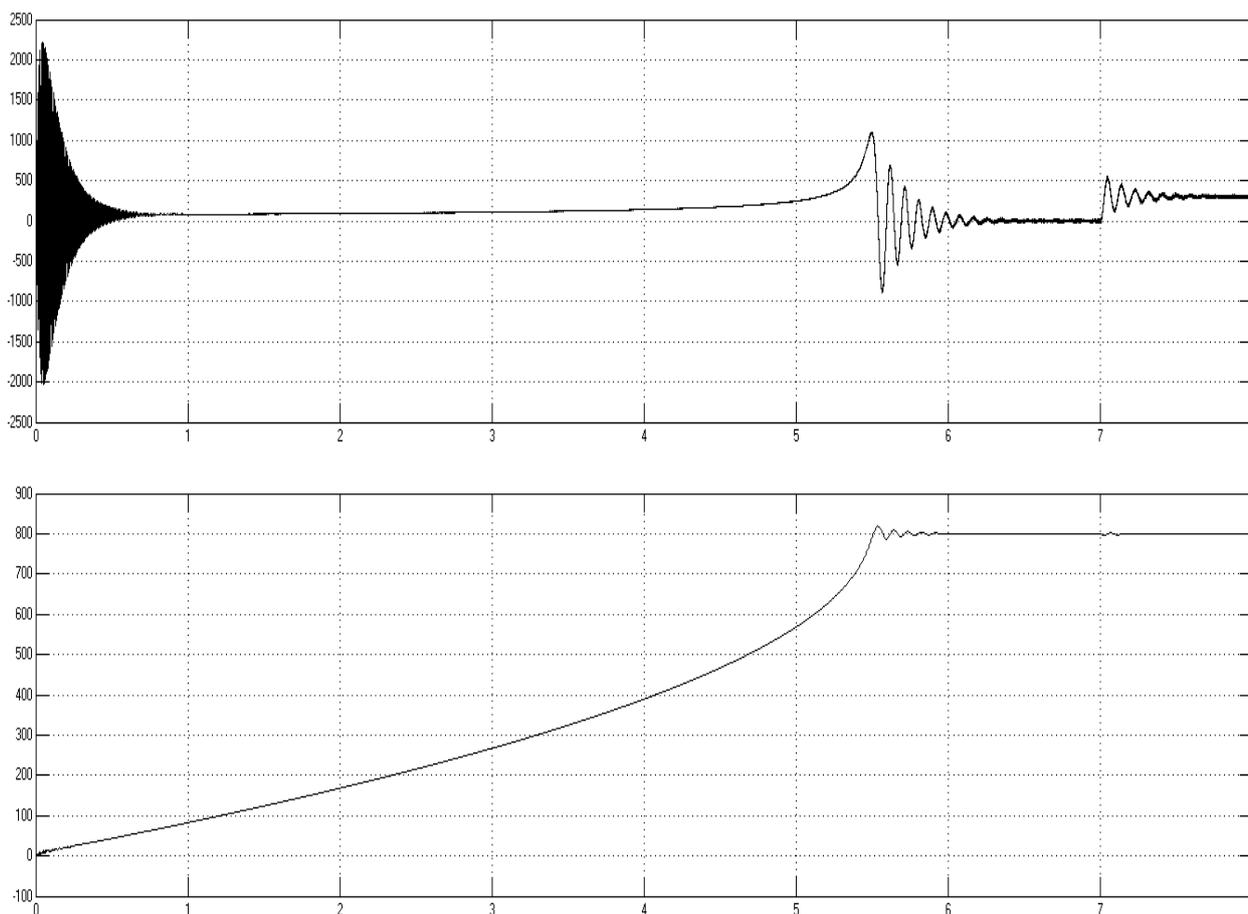


Рис. 5. Осциллограммы электромагнитного момента (вверху) и скорости вращения вала (внизу) электродвигателя ЭГПА при пуске, разгоне до номинальной скорости и набросе статической нагрузки

На рис. 6 показаны осциллограммы напряжения и тока на выходе многоуровневого инвертора напряжения.

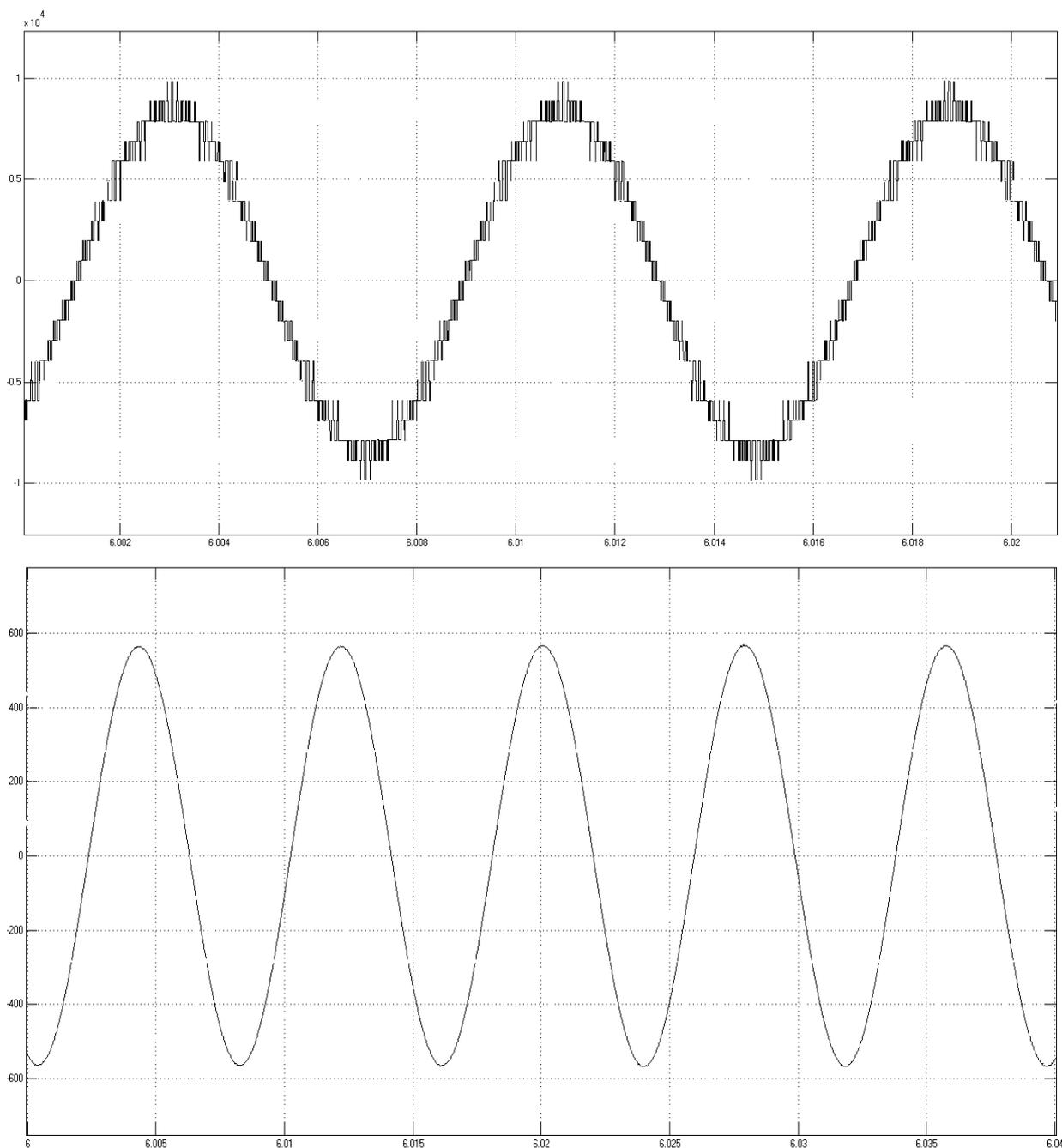


Рис. 6. Осциллограммы напряжения (вверху) и тока (внизу) на выходе многоуровневого инвертора напряжения

Выводы

Многоуровневый инвертор напряжения на сегодняшний день является наиболее перспективной топологией построения силовой части высоковольтных преобразователей частоты для регулируемого электропривода.

На стадии рабочего проектирования электроприводных компрессорных станций необходимо уделять внимание построению компьютерной модели разрабатываемой системы и анализа возможных установившихся и переходных режимов работы агрегатов.

В среде MatLAB/Simulink разработана компьютерная модель регулируемого ЭГПА мощностью 9,1 МВт на базе многоуровневого инвертора напряжения. Данная модель может быть использована для анализа режимов работы станции на стадии разработки проектной документации.

Разработана система векторного управления ЭГПА, обеспечивающая высокие энергетические характеристики системы, построение интеллектуальной системы электроснабжения, а также позволяющая реализовывать концепцию малолюдных технологий на компрессорной станции.

Библиографический список

1. Садиков, Д.Г. Выбор перспективной топологии построения преобразователя частоты для высоковольтного электродвигателя электроприводного газоперекачивающего агрегата // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2014. №1.
2. Колпаков, А. Алгоритмы управления многоуровневыми преобразователями / А. Колпаков, Е. Карташев // Силовая электроника. 2009. №2. С. 57–65.
3. Энергоснабжение и автоматизация энергооборудования компрессорных станций [Текст]: монография / А.Ф. Пужайло [и др.]; под ред. О.В. Крюкова. – Н. Новгород: Вектор ТиС, 2011. – 664 с.

*Дата поступления
в редакцию 15.12.2014*

L.S. Lomakina, D.G. Sadikov, V.G. Titov

ENERGY EFFICIENT SPEED DRIVE GAS PUMPING UNIT

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The building a mathematical and computer model of electrically driven gas pumping unit.

Design / methodology / approach: Determination of the optimal topology of the power part the frequency converter.

Results: Developed a computer model of electrically driven gas pumping unit.

Restrictions/values of research: Defined harmonics distortion of current and voltage mains power supply.

Novelty/value: The resulting based on the developing a computer model of electrically driven gas pumping unit

Key words: gas pumping unit, frequency converter, multilevel voltage converter, mains power supply, control system.

УДК 621.3

А.Ю. Смирнов, А.А. Кралин, А.Ю. Зимин, Т.Н. Уснунц-Кригер

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены технические решения в части электромеханических устройств, направленные на повышение эффективности работы устройств для вертикального перемещения регулирующих органов ядерных реакторов. Показано, что весьма удачные решения в части разработки таких устройств могут быть созданы в результате изменения ставших традиционными конструктивных схем бесконтактных синхронных машин с учётом особенностей привода.

Ключевые слова: электропривод для вертикального перемещения, регулирующий орган, шаговый двигатель, генератор, ёмкостная нагрузка, обмотка.

Непрерывное возрастание требований к безопасности эксплуатации объектов ядерной энергетики диктует жёсткие требования к качеству всего комплекса входящего в эти объекты электротехнического оборудования. Одной из важнейших единиц такого оборудования, являются устройства для вертикального перемещения и позиционирования в заданном положении регулирующих органов (РО), поглощающих тепловые нейтроны.

Привод осуществляется посредством бесконтактной синхронной машины, которая получает питание в виде импульсов напряжения или тока, т.е. используется в качестве шагового двигателя [1].

Дополнительным требованием, предъявляемым к работе рассматриваемых приводов, является необходимость работы в генераторном режиме при полном обесточивании, для плавного опускания регулирующего органа вниз, в результате совместного действия генераторного момента и момента от веса РО. Для ограничения скорости опускания РО применяют шаговые двигатели с возбуждением от постоянных магнитов. Полость ротора таких двигателей герметично отделена от статора с обмоткой посредством толстостенной герметизирующей трубы (рис. 2).

По технологическим причинам и условиям компоновки привода число пазов статора машины с герметизирующей трубой должно быть минимальным. Анализируя конструкции переменного-полюсных магнитоэлектрических машин с возбуждением со стороны ротора, можно рекомендовать магнитную систему индуктора с составным звездообразным магнитопроводом. Она содержит радиально намагниченные магниты с чередующейся полярностью полюсов.

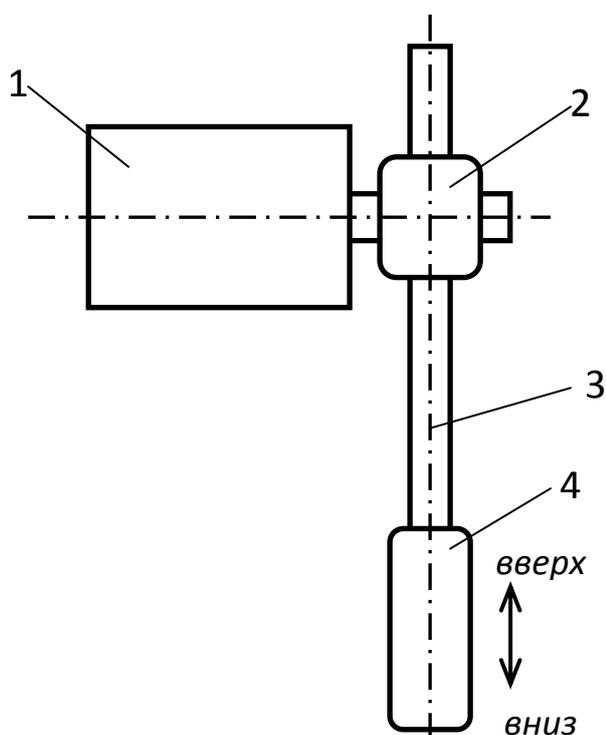


Рис. 1. Электропривод для вертикального перемещения РО (схема конструкции):

1 – шаговый двигатель; 2 – редуктор; 3 – зубчатая рейка; 4 – регулирующий орган

По технологическим причинам и условиям компоновки привода число пазов статора машины с герметизирующей трубой должно быть минимальным. Анализируя конструкции переменного-полюсных магнитоэлектрических машин с возбуждением со стороны ротора, можно рекомендовать магнитную систему индуктора с составным звездообразным магнитопроводом. Она содержит радиально намагниченные магниты с чередующейся полярностью полюсов.

Для сокращения длины вылета лобовых частей и общей осевой длины двигателя и привода сосредоточенные катушки с шагом $y=1$ укладывают в открытые пазы статора. При таком решении наложение реактивной составляющей момента искажает форму угловой характеристики двигателя. Особенно сильно это искажение проявляется при наличии магнитомягких полюсных наконечников на роторе, где велика доля поперечного потока.

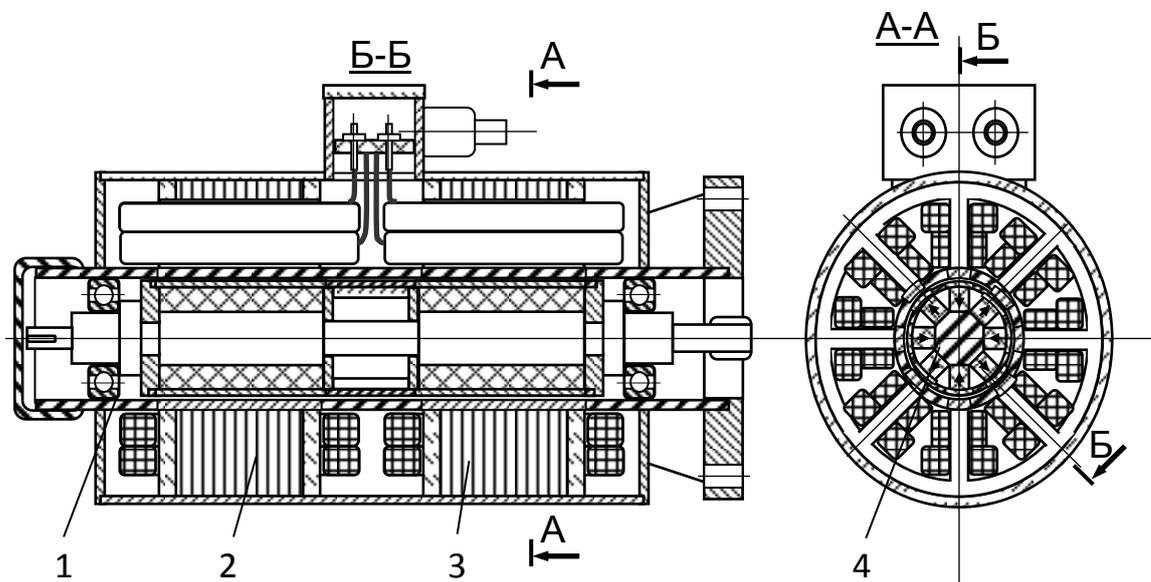


Рис. 2. Герметичный шаговый двигатель с постоянными магнитами на роторе:
 1 – герметизирующая труба; 2, 3 – статоры с многофазной обмоткой;
 4 – ротор

Для подавления гармоник высших порядков и реактивных моментов, обусловленных зубчатостью статора, воздушный зазор следует увеличивать по сравнению с прочими аналогами, а компенсацию падения магнитного напряжения, обусловленного этим увеличением, осуществлять применением высококоэрцитивных постоянных магнитов на основе сплавов РЗМ, ферритов бария или стронция.

При использовании ферритов, коэрцитивная сила по индукции H_{CB} которых обычно находится в пределах 200-300 кА/м, в машинах с зубчатым статором следует выбирать зазор δ не менее $1/10 - 1/15$ зубцового деления статора t_z . Влияние повышенного магнитного сопротивления зазора при этом в значительной мере сглаживается магнитным сопротивлением собственно постоянных магнитов, весьма большим в упомянутых группах магнитотвёрдых материалов.

Эти магниты обладают прямолинейной характеристикой размагничивания в области второго квадранта. Максимум их удельной магнитной энергии приходится на середину прямой магнитного возврата, которая совпадает с характеристикой размагничивания, поэтому индукцию в зазоре целесообразно предварительно выбрать, исходя из соотношения

$$B_{\delta} = K_{\text{пм}} \frac{B_r}{2}, \quad (1)$$

где B_r – паспортное значение остаточной индукции магнитотвёрдого материала, $K_{\text{пм}}$ – коэффициент, определяемый отношением площади магнитов к площади полюсных наконечников ротора у зазора: для ротора (индуктора) с составным звездообразным магнитопроводом без полюсных наконечников $K_{\text{пм}}=1$.

Фазы обмотки якоря двигателя по рис. 1 распределены по двум статорам 2 и 3 с угловым смещением статоров или магнитов ротора внутри каждого из них на половину полюсного деления. Но возможно и размещение всех фаз на одном из них, например, на статоре 2. Тогда оставшийся статор может быть использован в качестве отдельного генератора, обеспечивающего заданную скорость опускания РО. Для поддержания заданной скорости к обмотке генератора подключается емкостная нагрузка (рис. 3). На низкочастотном участке характеристики электромагнитного момента генератора ток и электромагнитный момент линейно возрастают с ростом частоты вращения под влиянием роста ЭДС, реактивный ток в цепи является индуктивным. На более высоких частотах сказывается влияние компенсации поля реакции якоря конденсаторами, и момент возрастает более интенсивно, вплоть до максимума, при котором наступает резонанс напряжений. Этот участок характеристики является рабочим. На нём электромагнитный момент уравнивает момент от веса регулирующего органа и последний опускается равномерно.

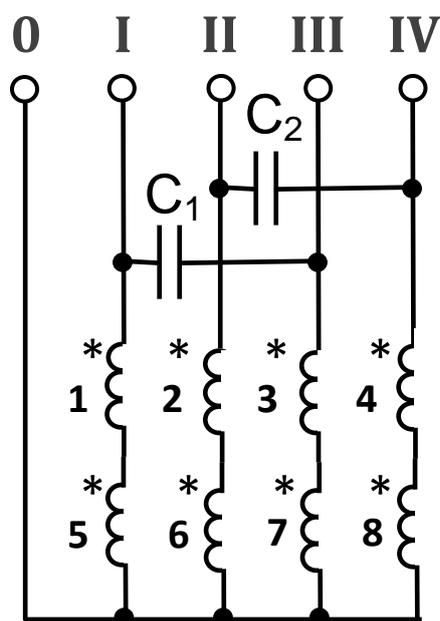


Рис. 3. Схема подключения емкостной нагрузки к фазам обмотки магнитоэлектрического двигателя

коэффициент полюсного перекрытия, λ – отношение диаметра ротора к аксиальной длине зазора, $K_{обv}$ – обмоточный коэффициент для рабочей гармоники, w_1 – число витков фазы обмотки якоря.

Зависимость (3) вытекает из уравнения для ЭДС фазы обмотки

$$E_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} v f w_1 K_{обv} \Phi_m, \quad (4)$$

Φ_m – полный поток возбуждения (на один полюс магнитной системы ротора),

$$\Phi_m = K_{пм} \frac{B_r}{2} \frac{\pi D^2 \lambda \alpha_\delta}{2p}. \quad (5)$$

Манипулируя отношением λ , можно определиться с базисными размерами с учётом возможных ограничений. Такими ограничениями являются приемлемое соотношение моментов инерции шагового двигателя и привода, а также условие размещения магнитов, обеспечивающих необходимую линейную нагрузку A внутри окружности ротора с диаметром D .

При дальнейшем разгоне ротора реактивный ток в цепи становится ёмкостным, характеристика переходит на ниспадающую ветвь вследствие роста ёмкостного сопротивления. Эта ветвь соответствует неустойчивой работе: в теоретически возможном случае преодоления максимума электромагнитного момента под действием какого-либо случайного импульса нагрузки происходит неуправляемый разгон ротора. Чтобы этого не произошло машина, как и любая другая в синхронном приводе, должна обладать достаточной кратностью максимального момента.

При проектировании генераторов с ёмкостной стабилизацией фазное напряжение и ЭДС можно приравнять

$$E_0 = U_{ном}. \quad (2)$$

Тогда диаметр ротора и число витков в фазе окажутся связанными между собой зависимостью

$$D^2 = \frac{p U_{ном}}{1,1 \pi K_{пм} \alpha_\delta \lambda v f K_{обv} w_1 B_r}, \quad (3)$$

где v – номер рабочей гармоники, а её не обязательно является первая гармоника, ей может быть третья, зубцовая или другая высшая, p – число пар полюсов индуктора, f – частота сети, α_δ – расчётный коэффициент

Во избежание размагничивания линейная нагрузка должна несколько превышать таковую со стороны статора при максимально возможном токе якоря в условиях воздействия эксплуатационных перегрузок по току

$$A = \frac{2pH_{CB}l_m K_{зм}}{\pi D} = \frac{2mw_1 I_{\max}}{\pi(D+2\delta)}, \quad (6)$$

где H_{CB} – коэрцитивная сила магнитотвёрдого материала по индукции, l_m – общая длина магнитов с полюсными наконечниками (если они присутствуют) в направлении одной силовой линии поля возбуждения, p – число пар полюсов, образованных магнитами индуктора на роторе ($p=v p_1$); I_{\max} – амплитуда максимального тока фазы обмотки якоря при протекании форсированных токов (в двигателе) или тока ударного короткого замыкания (в генераторе), $K_{зм}$ – коэффициент запаса МДС магнитов индуктора, принимаемый для обеспечения их устойчивости к размагничиванию меньшим единицы на 5-10%.

По найденной амплитуде потока взаимной индукции фазы с полем постоянных магнитов и её индуктивному сопротивлению $X_1 = \omega L_1$ определяются амплитуда и действующее значение ЭДС фазы

$$E_m = 2\pi w_k K_{об} \Phi_{ам} \cdot l_\delta, \quad \dot{E} = E_m / \sqrt{2};$$

а затем – амплитуда и фаза тока. В соответствии со схемой замещения, состоящей из последовательно соединённых индуктивного сопротивления фазы, её активного сопротивления, и сопротивления нагрузки, которую для поддержания тока делают ёмкостной, можно выразить ток фазы, представленный амплитудой

$$I = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + (X_1 - X_C)^2}}$$

и угловым аргументом коэффициента мощности

$$\varphi = \arctg \frac{X_1 - X_C}{R}$$

и падения напряжения на индуктивном сопротивлении фазы $j\dot{I}_a X_1$.

Все эти параметры можно определить по упрощённой векторной диаграмме (рис. 4), отложив сначала отрезок AB , равный модулю ЭДС в вертикальном направлении, в соответствующем масштабе.

После этого нетрудно определить индуктивные параметры машины и нагрузки при каждой конкретной частоте вращения ротора

$$X_H = R_H \operatorname{tg}(\varphi),$$

$$\beta = \arccos \frac{R + R_H}{\sqrt{(X_H + X_q)^2 + (R + R_H)^2}},$$

$$R_1 = R + \frac{X_d + X_q}{2} \cos(2\beta),$$

$$X_1 = 0,5(X_d + X_q) + 0,5(X_d - X_q) \cos(2\beta),$$

и электромагнитный момент

$$\frac{P}{\Omega} = m R_H I^2.$$

Здесь R_H и X_H – активная и реактивная составляющие нагрузки, соответственно; $\cos(\varphi)$ – коэффициент мощности, X_d и X_q – индуктивное сопротивление фазы обмотки

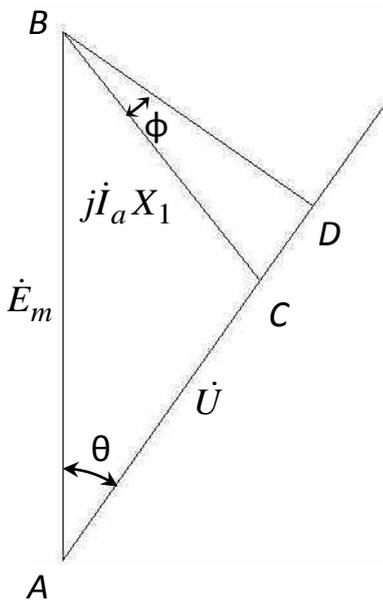


Рис. 4. Упрощённая векторная диаграмма

якоря по продольной и поперечной, R_1 и X_1 – активная и индуктивная составляющие полного (главного) сопротивления якоря, β – угол (фазовый сдвиг) между током и ЭДС, I – действующее значение тока в фазе обмотки якоря, m – число фаз обмотки, P – активная мощность.

Генератор может быть совмещён с датчиком скорости. Для этого одна, а лучше две фазы его обмотки подключается ко входу компаратора (по одному на каждую фазу). Компаратор преобразует ЭДС в последовательность импульсов, которые затем подаются на счётчик импульсов, которые суммируются или вычитаются, в зависимости от сдвига фаз сигнала двух смежных фаз с ранее сосчитанными импульсами, определяя тем самым текущее положение ротора и РО.

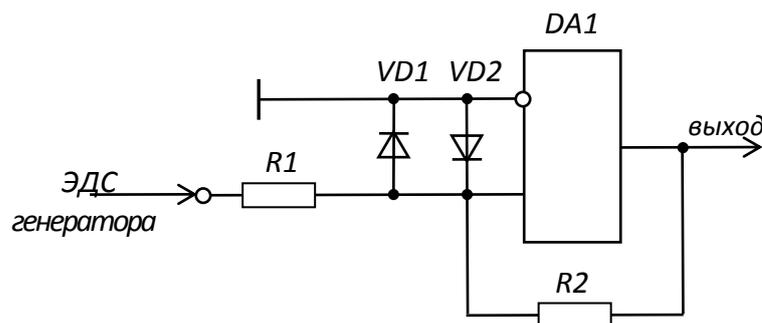


Рис. 5. Схема компаратора для определения углового положения ротора и РО путем интегрирования сигнала по частоте вращения

Для обработки сигнала датчика во вторичном преобразователе применён компаратор на операционном усилителе (рис. 5). Напряжение с генератора от минус 100 до плюс 100 В подаётся на гасящий резистор $R1$ поступает на прямой вход операционного усилителя $DA1$, на котором с помощью диодов $VD1$ и $VD2$ в зависимости от угла поворота ротора формируется последовательность положительных и отрицательных полуволн напряжения относительно инверсного входа усилителя $DA1$ напряжением ± 1 В. Компаратор преобразует входные напряжения $DA1$ в последовательность знакопеременных импульсов, несущих информацию об угле поворота ротора генератора и, следовательно, о величине перемещения РО.

Интересная возможность создать дополнительный запас электромагнитного момента синхронной машины на перемещение и торможение РО при движении регулирующего органа в нужных направлениях обеспечивается за счёт использования многофазной машины с асимметричным ротором [2].

Машина с асимметричным ротором содержит на статоре многофазную обмотку (рис.6), состоящую из двух параллельных ветвей в каждой фазе и имеющую по окружности статора два полюса разной полярности. Шаг витков обмотки статора по пазам составляет половину полюсного деления.

Выводы фаз обмотки через зажимы A_1-X_1 , B_1-Y_1 , C_1-Z_1 подключены к источнику переменного напряжения или тока (не показан). Фазы обмотки сопряжены между собой в звезду и подсоединены к зажимам A_1 , B_1 , C_1 соответствующих фаз. Допускается также соединение в многоугольник, или независимое включение фаз в разные электрические цепи.

Обмотка снабжена также выводами точек, эквипотенциальных относительно напряжения сети, соединёнными с зажимами A_2-X_2 , B_2-Y_2 , C_2-Z_2 в соответствующих фазах, предназначенными для подключения конденсаторов.

Магнитоэлектрический индуктор 6 установлен на валу 2 ротора синхронной машины 1 с угловым смещением осей полюсов относительно осей зубцов зубчатого магнитопровода 7 на угол γ , не превышающий одной четвертой части полюсного деления, в направлении

действия момента (M_{PO}) от веса регулирующего органа, приложенного к валу 2 синхронной машины.

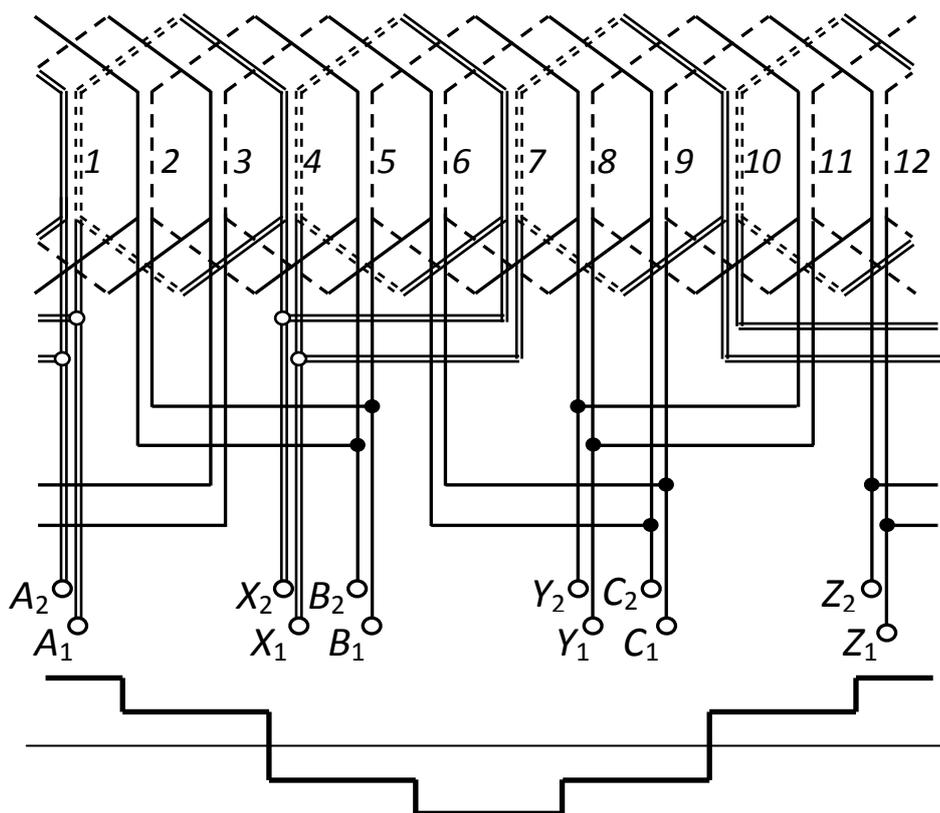


Рис. 6. Обмотка двигателя – генератора с асимметричным ротором

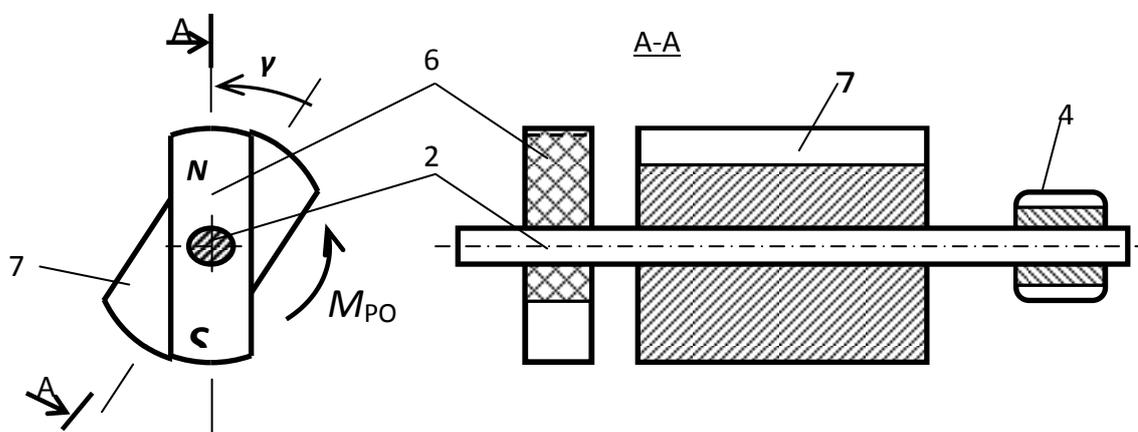


Рис. 7. Асимметричный ротор двигателя – генератора для перемещения РО

При подключении обмотки статора синхронной машины к сети многофазного напряжения или тока на зажимы A_1-X_1 , B_1-Y_1 , C_1-Z_1 многофазной обмотки статора синхронной машины в ней возникает магнитное поле, приводящее вал 2 ротора во вращение в результате взаимодействия силовых линий этого поля с зубчатым магнитопроводом 7 и с магнитоэлектрическим индуктором 6. В результате вращения постоянными магнитами магнитоэлектрического индуктора в фазах обмотки статора будет наводиться ЭДС. В силу разного углового положения осей полюсов магнитоэлектрического индуктора 6 относительно осей зубцов зубчатого магнитопровода 7, фазовый угол ЭДС, наводимой при вращении ротора синхронной машины 1 в одном направлении, будет отличен от фазового угла ЭДС, наводимой при вращении его в противоположном направлении. Различие фазового угла ЭДС влечёт за со-

бой различие углов нагрузки тока статора, а значит мощности и момента синхронной машины при вращении в разных направлениях по угловым характеристикам.

Алгебраическое сложение момента от действия разных пакетов по их угловым характеристикам приводит к увеличению амплитуды электромагнитного момента при вращении ротора в одном направлении и к уменьшению амплитуды, при вращении ротора в противоположном направлении.

В частности, если угловой сдвиг осей полюсов магнитоэлектрического индуктора 6 относительно осей зубцов зубчатого магнитопровода 7 выполнен в направлении действия момента от веса регулирующего органа (M_{PO}), то при работе в двигательном режиме синхронная машина развивает больший вращающий электромагнитный момент в направлении против приложенного внешнего момента, т.е. на подъём регулирующего органа (рис. 4, нижняя полувольтная характеристика). Тем самым обеспечивается увеличение её перегрузочной способности (кратности максимального электромагнитного момента) при вращении ротора в направлении на подъём регулирующего органа. За счёт этого обеспечивается более надёжная работа электропривода при перемещении регулирующего органа вверх, в случаях кратковременного увеличения нагрузки на валу двигателя по каким-либо причинам.

При принудительном опускании регулирующего органа (обмотка статора двигателя - генератора остаётся подключенной к источнику) электромагнитный момент при работе её в двигательном режиме снижается, однако это снижение компенсируется моментом от веса регулирующего органа, направленным в сторону электромагнитного момента двигателя.

Максимальное значение угла смещения осей полюсов активного пакета относительно осей зубцов зубчатого магнитопровода, при котором обеспечивается наибольшая разница электромагнитного момента двигателя при движении вверх и вниз составляет $\frac{1}{4}$ часть полюсного деления активного пакета.

При обесточивании обмотки статора синхронная машина переходит в генераторный режим, направление фазового угла меняется на противоположное, в результате чего изменяется и распределение электромагнитного момента по квадрантам угловой характеристики: в квадранте угловой характеристики, соответствующем генераторному режиму - в направлении перемещения регулирующего органа вниз, кратность максимального момента возрастает (рис. 5, верхняя полувольтная характеристика). Это обеспечивает более эффективное ограничение скорости опускания регулирующего органа до установившегося значения.

Шаг катушек обмотки якоря по пазам рассмотренной синхронной машины (рис. 6) составляет половину полюсного деления, но может быть использована обмотка с чётным числом пазов на полюс и фазу q с любым шагом, меньшим диаметрального. Чем меньше укорочение шага, тем более эффективно, с большим моментом синхронная машина будет работать в двигательном режиме, и менее эффективно – в генераторном режиме при обесточивании сети.

Выбирая обмотку якоря с соответствующим шагом, можно получить дополнительный эффект за счёт оптимального сочетания уровней максимального момента синхронной машины, развиваемого ею в двигательном и генераторном режимах её работы, приведения в соответствие заданной скорости опускания регулирующего органа и его массы.

Такая машина может быть выполнена с любым числом пазов на полюс и фазу, начиная с $q=0,5$, как с электромагнитной редуцией скорости вращения ротора, так и без неё.

Например, машина с четырёхфазной ($m=4$) двухполюсной, $2p_1=2$, обмоткой статора при $q=0,5$ также как и прототип содержит 8 зубцов на статоре и может быть укомплектована как двухполюсным индуктором, в этом случае ротор вращается со скоростью поля, так и шестиполюсным. В последнем случае ротор вращается со скоростью в Z раз меньшей, чем частота вращения поля, обеспечивая электромагнитную редуцию.

Вывод

Совершенствование электропривода для вертикального перемещения РО в значительной мере обеспечивается применением нестандартных электромеханических преобразователей, отличающихся от ставших традиционными бесконтактных синхронных машин различного типа [3] более широкими функциональными возможностями и более приспособленными к особенностям нагрузки при движении в направлениях на подъем и на опускание РО.

Библиографический список

1. **Смирнов, А.Ю.** Вопросы проектирования двигателей для синхронного привода систем автоматики ядерных энергетических установок / А.Ю.Смирнов, Т.Н. Усунц-Кригер // Электротехника. 2013. №9. С. 34–39.
2. **Смирнов, А.Ю.** Индукторные машины. Проектирование и вычислительный анализ (специальный курс): учебное пособие для вузов / А.Ю. Смирнов. – М.: Изд-во Форум, – 2015. – 192 с.
3. **Смирнов, А.Ю.** Вопросы классификации бесконтактных синхронных машин // Электротехника. 2012. №2. С. 50–56.

*Дата поступления
в редакцию 15.12.2014*

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Reviewed technical solutions in Electromechanical devices, and is aimed at enhancing the efficiency of the device for the vertical displacement-tion regulators of nuclear reactors. It is shown that a very good solution in terms of the development of such devices can be created by changing the traditional design concepts contactless synchronous machines taking into account special features of the drive.

Key words: electric Drive for vertical movement regulating the or-Gan, a stepper motor, a generator, a capacitive load, the winding.

УДК 621.311.2

Е.Н. Соснина, А.Ю. Кечкин, Д.А. Филатов

ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, УДАЛЕННЫХ ОТ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены проблемы изолированных систем электроснабжения (СЭС) удаленных, малонаселенных потребителей России. Проведен анализ существующего положения и выявлены основные тенденции развития зон децентрализованного электроснабжения в перспективе до 2030–2035 года. Предложены схемные решения по повышению энергоэффективности, а также комплекс мероприятий для реализации развития автономных СЭС.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, децентрализованное электроснабжение, электропотребитель, энергетическая безопасность, топливно-энергетические ресурсы.

"Обеспечение энергетической безопасности страны", в том числе за счет надежного и качественного "энергоснабжения в ряде удаленных регионов и в районах с низкой плотностью потребителей" является одним из главных ориентиров государственной политики, отраженном в энергетической стратегии России до 2035 года [1].

Около 70 % территорий Российской Федерации составляют зоны децентрализованного электроснабжения и неэлектрифицированные зоны [2]. На рис. 1. приведена разработанная авторами классификация территории России по степени централизации и обеспеченности топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР).



Рис. 1. Классификация территорий России по степени централизации и обеспеченности ТЭР

Степень обеспеченности, а также разведанности и освоенности ТЭР в районах Дальнего Востока, Сибири, Севера крайне неравномерны. Так, открытые и полуоткрытые зоны в основном сами обеспечивают свои потребности в ТЭР. Районы закрытых зон практически полностью зависят от внешних поставок топлива.

Удаленными потребителями зоны III (рис. 1) являются, преимущественно, малые населенные пункты, изолированные от сетевой инфраструктуры, имеющие слабые транспортные связи с промышленно-развитыми районами. Энергетические нагрузки по категориям потребителей данных регионов приведены на рис. 2.



Рис. 2. Энергетические нагрузки по категориям потребителей

К основным проблемам автономного электроснабжения удаленных потребителей относятся: тяжелые условия транспортировки топлива, большой износ энергетического оборудования, недостаток инвестиций, удаленность от центров снабжения и обслуживания, высокая стоимость топлива, рост цен на ТЭР и, как следствие, увеличение объема дотаций из областных бюджетов на закупку и завоз топлива [2, 3]. По этим причинам за последние десятилетия было официально упразднено более 11 тысяч поселений [2]. Проблема надежного и качественного электроснабжения удаленных, малонаселенных поселений России, остается острой в социальном, техническом и экономическом аспектах [5].

Наиболее распространенными источниками электроэнергии удаленных потребителей являются дизельные электростанции (ДЭС), которых по России насчитывается более 5 тыс. штук, и которыми вырабатывается порядка 1,8 млрд кВт·ч электроэнергии при ежегодном расходе топлива – 6 млн тонн [4, 5]. Установленная мощность ДЭС определяется максимальной мощностью графика нагрузки объекта электроснабжения. Неравномерность потребления электроэнергии приводит к существенному недоиспользованию установленной мощности ДЭС. В результате, КПД резко снижается, а удельный расход топлива на выработку 1 кВт·ч электроэнергии увеличивается относительно их паспортных данных. Стоимость выработанной электроэнергии достигает до 25 – 40 руб./кВт·ч, при среднем тарифе для населения в децентрализованных зонах 2,5 – 3,5 руб./кВт·ч (до 91 % затрат покрывается за счет дотаций из областных и региональных бюджетов) [6, 7, 8]. Удорожание органического топлива, рост транспортных тарифов на его доставку, неэффективность режимов работы существующих ДЭС обуславливают необходимость применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

В рамках энергетической стратегии России до 2035 года предусматривается развитие технологий использования ВИЭ, в том числе для "электро- и теплоснабжения автономных потребителей, расположенных вне систем централизованного энергоснабжения" [1]. В соответствии со стратегией подразумевается рост доли возобновляемых источников энергии к 2035 году до 3,7 % в общем объеме ввода мощностей электростанций, в производстве электроэнергии – до 2,2 %, а в последствии – замещение локальной дизельной генерации.

Россия располагает значительным количеством возобновляемых ресурсов. В большинстве субъектов Российской Федерации имеются два и более вида ВИЭ. Технический потенциал ВИЭ на два порядка превышает современное потребление энергии данными областями. Однако, эти возможности используются незначительно: из общего количества вырабатываемой энергии электростанциями малой мощности лишь менее 10 % приходится на долю возобновляемой энергетики (табл. 1).

Таблица 1

Данные по установленным мощностям и количеству вырабатываемой электроэнергии электростанциями малой мощности

Тип электростанции	Установленная мощность, %	Выработка электроэнергии, %
ДЭС	55,35	31,28
ГПУ	17,41	23,40
ГТУ	0,54	0,74
ПТУ/ в т.ч. на биомассе	23,13/0,99	36,93/2,05
Мини-ГЭС	2,72	5,57
ВЭС	0,09	0,03
ГеоТЭС	0,77	2,05

В табл. 2 представлены сведения о годовом валовом и техническом потенциале ВИЭ [9, 10]. Основная доля валового потенциала приходится на солнечную энергию, существенно превосходящую значения аналогичных показателей энергии ветра и малых рек. В то же время технический потенциал солнечной энергии составляет 0,1 % от валового (технический потенциал ветра – 2 % и малых рек – 36 %), что объясняется недостаточным уровнем развития технологий по эффективному преобразованию солнечной энергии в полезно используемую энергию.

Таблица 2

Сведения о годовом валовом и техническом потенциале ВИЭ на территории России в млрд т.у.т./год

Федеральный округ	Солнечная энергия		Энергия ветра		Гидроресурсы малых рек	
	Валовый потенциал	Технический потенциал	Валовый потенциал	Технический потенциал	Валовый потенциал	Технический потенциал
Россия в целом	2205,4	10,2	320,2	0,85	401,6	126,5
Центральный	84,9	0,43	3,5	0,009	2,9	1,0
Северо-Западный	178,2	0,78	21,3	0,05	18,7	5,1
Южный	100,7	0,64	8,7	0,02	20,6	6,4
Приволжский	140,8	0,76	11,6	0,03	11,9	3,9
Уральский	215,6	0,79	79,5	0,2	45,9	14,3
Сибирский	672,0	3,1	74,3	0,2	147,9	46,2
Дальневосточный	813,2	3,1	121,3	0,3	153,7	49,6
Крымский	-	0,6	-	0,035	-	0,005

Повсеместное распространение, практически неисчерпаемый потенциал и экологическая чистота – основные достоинства ВИЭ. Однако практическое применение ограничивается их изменчивостью в пространстве и времени, низкой плотностью энергетических потоков. Это приводит к неравномерности выработки электроэнергии, появлению колебаний выходной мощности, зависимости электрогенерации от метеорологических условий, что делает актуальным комбинированное использование ВИЭ. Однако, вследствие нестабильности последних, необходимо предусматривать их параллельную работу с гарантированными источниками энергии на органическом топливе.

На рис. 3. приведены возможные схемные решения по повышению эффективности систем автономного электроснабжения (САЭС). Отсутствие на рынке возобновляемой энергетики универсальных технических устройств, обеспечивающих возможность объединения разнотипных энергетических установок с возможностью эффективного управления режимами их работы, является негативным фактором развития малой энергетики России. Логика работы схемы таких устройств должна строиться на максимальном использовании энергии ВИЭ, накопительных элементов с целью экономии топлива ДЭС, генерирующей недостающую мощность для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей.

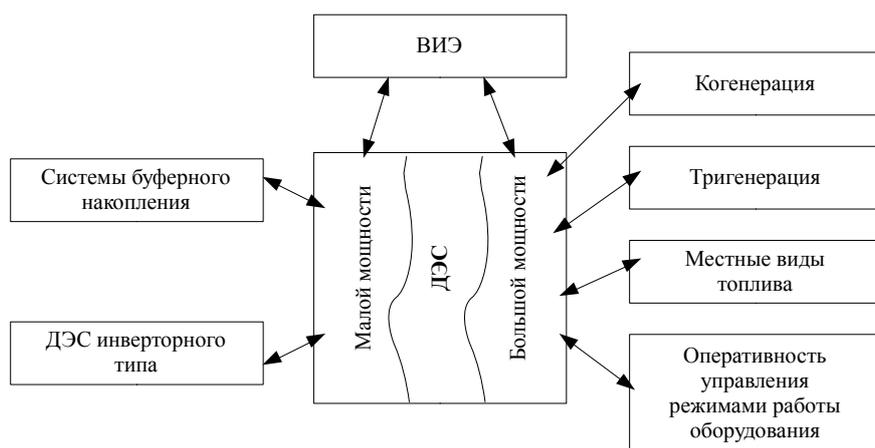


Рис. 3. Схемные решения по повышению эффективности САЭС



Рис. 4. Предлагаемые мероприятия для реализации развития и повышения надежности электроснабжения удаленных малонаселенных потребителей

В табл. 3 приведены масштабы применения ВИЭ для зон децентрализованного электроснабжения в перспективе до 2030 года [8]. Как видно, наиболее перспективным остается развитие мини-ГЭС и ВЭУ. Исходя из прогноза, себестоимость производимой электроэнергии должна сократиться в среднем в 1,25–1,9 раза.

Таблица 3

Масштабы применения ВИЭ для зон децентрализованного электроснабжения России

Тип электростанции	Вводимые мощности, МВт		
	2013-2020	2021-2030	2013-2030
Всего	256	757	1013
в том числе:			
Мини-ГЭС	156	420	576
ВЭС	38	135	173
ГеоТЭС	12	12	24
СЭС	25	100	125

Авторами предложен комплекс мероприятий, способствующих развитию и повышению надежности электроснабжения удаленных потребителей посредством повсеместного использования ВИЭ (рис. 4). Данный подход способствует ускорению циклов запуска новых разработок в производство, минимизации затрат на внедрение и распространение нового оборудования, специализации сервисной и информационной сети.

Несмотря на значительные темпы развития локальной генерации посредством ВИЭ, их комбинированного использования, разработки законодательной и нормативной базы в сфере внедрения последних, на сегодняшний день, практическая реализация проектов энергообеспечения изолированных потребителей осуществляется в незначительных масштабах, что не позволяет в необходимой степени решить проблемы их электроснабжения.

Библиографический список

1. Проект Энергетической стратегии России на период до 2035 года. Москва. 2014. URL: <http://media.rspp.ru/document/1/c/e/ceef7d9d4df403f7f78fa3bd217d7285.pdf> (05.11.2014).
2. Заседание президиума Государственного совета №36. Доклад "Об основах государственной политики Российской Федерации в районах Севера". URL: <http://archive.kremlin.ru/text/appears2/2004/04/28/97302.shtml> (10.09.2014).
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 г. № 321 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Энергоэффективность и развитие энергетики" URL: <http://pravo.gov.ru/laws/acts/37/515049.html> (06.11.2014).
4. Энергоэффективность: Перспективы для России. М.: Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2010. – 176 с.
5. **Суржикова, О.А.** Проблемы и основные направления развития электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей России // Вестник науки Сибири. 2012. №3 (4) С. 103-108.
6. Функционирование и развитие электроэнергетики Российской Федерации. Информационно-аналитический доклад. Министерство энергетики РФ. 2011. – 384 с.
7. **Попель, О.С.** Перспективные применения возобновляемых источников энергии – в мировой практике и в России. Научная конференция фонда Сколково. Презентация. URL: <http://www.gosbook.ru/node/36164> (05.11.2014).
8. Иванова И.Ю., Петров Н.А., Тугузov Т.Ф. Системная оценка эффективности вариантов энерго-, топливоснабжения децентрализованных потребителей. Методические подходы и результаты исследований. ИСЭМ СО РАН, ИФТПС СО РАН. Презентация. URL: http://www.eriras.ru/files/ivanova-enjergosnabzhjenije_djecjentr_potrjeb.pdf (05.11.2014).
9. Стенников В.А. и др. Информационно-технологическое обеспечение интегрированных систем малой энергетики в сфере электро- и теплоснабжения: отчет о НИР. Иркутск, 2011.

10. **Бекиров, Э.А.** Перспектива повышения энергоэффективности и энергетического потенциала Крыма на основе возобновляемых источников энергии / Э.А. Бекиров, С.Э. Бекирова // Строительство и техногенная безопасность. В. 33-34, 2010. С. 321–327.

*Дата поступления
в редакцию 15.12.2014*

E.N. Sosnina, A.Y. Kechkin, D.A. Filatov

**QUESTIONS POWER SUPPLY CONSUMERS REMOVED
FROM NETWORK INFRASTRUCTURE**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The problems of isolated power supply systems (PSS) of remote, sparsely populated Russian consumers. Performed an analysis of the current situation and identified the major trends in the development zones decentralized power supply in the run up to the year 2030–2035. Proposed circuit decisions to improve energy efficiency, as well as set of measures for the implementation development autonomous PSS.

Key words: renewed energy sources, decentralized power supply, electrical consumers, energy security, fuel and power resources.

УДК 621.311. 078.

В.И. Гребенщиков, А.И. Чивенков, В.В. Севастьянов, И.А. Захаров

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены вопросы использования универсального инструментария для разработки прототипов систем управления интеллектуальными устройствами силовой электроники с применением пакета программирования нелинейных динамических систем *Simulink/SimPowerSystems* в режиме реального времени по схеме программно-аппаратного тестирования “*Hardware in the Loop*”.

Ключевые слова: прототип системы управления, силовая электроника, MATLAB-SIMULINK, SimPowerSystems, Real-Time Windows Target, xPC Target, Hardware in the Loop.

В настоящее время уже существует понятие цифровой силовой электроники. Современные установки регулирования параметров качества электрической энергии на базе импульсных преобразователей находят всё большее применение в промышленных сетях. Появляются многофункциональные устройства, объединяющие в себе свойства регуляторов, компенсаторов, активных фильтров. Оборудование становится всё более сложным с точки зрения аппаратной и информационной частей систем управления.

Многофункциональность силовых устройств регулирования параметров качества электрической энергии позволяет на сегодняшний день создавать интеллектуальные электрические сети, одной из подсистем которых являются гибкие активно-адаптивные устройства передачи, преобразования и регулирования потоков мощности (Flexible Alternative Current Transmission Systems – гибкие системы передачи переменного тока FACTS и Unified Power Flow Controller – унифицированная система управления энергопотоками UPFC). UPFC воплощает мечту комплексного регулирования потоков активной и реактивной мощностей в реальность. Это наиболее сложная из систем. Она позволяет осуществлять следующие функции: непосредственное управление напряжением, сложение или вычитание напряжений, фазированных узлом поперечной компенсации; поперечный компенсатор – путем управления поперечным преобразователем с переводом последнего в режим поглощения или возврата реактивной мощности (напряжение должно поддерживаться постоянным); продольный компенсатор: путем добавления последовательного напряжения, со сдвигом на 90° по отношению к току связи (при этом необходимо управлять выходным напряжением и реактивной мощностью на выходе); фазосдвигающее устройство: если величина и фаза продольного напряжения таковы, что при поддержании такого же напряжения на выходе модуля оно уменьшает величину сдвига фаз по отношению ко входу. Это имеет важное значение при управлении передаваемой активной мощностью.

Или, наконец, одновременное использование всех функций – число степеней свободы системы позволяет это делать, – когда необходимо управлять и реактивной, и активной мощностью.

Один из возможных вариантов реализации UPFC представлен на функциональной схеме, отображенной на рис. 1. Рассмотрена ситуация, при которой питающая сеть 2 является проблемной в плане дефицита электроэнергии и параметров качества напряжения.

При решении комплексной задачи управления параметрами перетоков электрической энергии из одной питающей сети в другую с учётом возможной функциональной взаимозаменяемости подчинённого и ведущего инверторов возникает сложная задача по обработке информационного потока большого количества аналоговых, дискретных каналов измерения

и управления. Можно выделить основные этапы разработки: техническое предложение; разработка и изготовление экспериментального образца; разработка программного обеспечения; разработка и изготовление опытного образца.

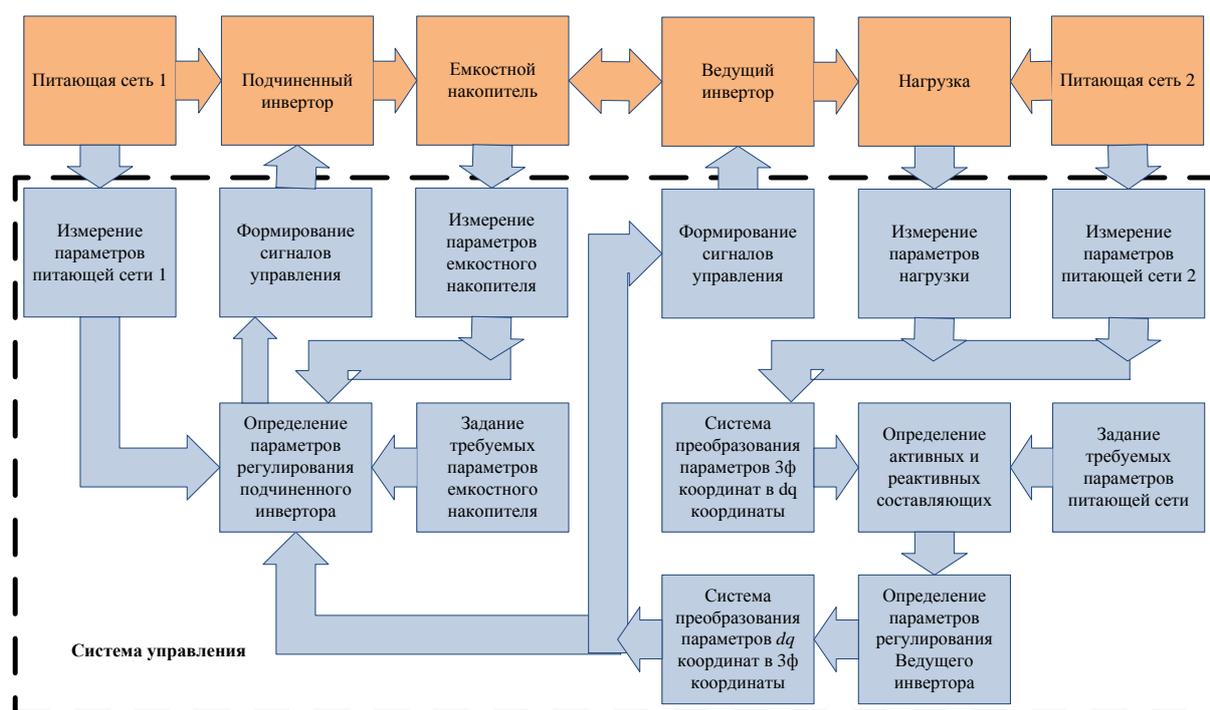


Рис. 1. Структурная схема силовой части UPFC и её системы управления

Длительным и требующим дополнительных финансовых расходов может оказаться второй из перечисленных этапов при разработке и изготовлении физического экспериментального образца из-за многократных переделок и корректировок, включающий в себя:

- разработку схем силовой части установки;
- определение алгоритмов управления активными элементами силовой части;
- разработку схем системы управления, защиты и контроля, в общем случае – системы управления (СУ);
- изготовление макетов силовой части и системы управления;
- исследование работоспособности установки на макете;
- выявление сбоев и возможных аварийных режимов работы;
- корректировку алгоритмов и принципиальных электрических схем установки;
- разработку экспериментального образца установки;
- испытания экспериментального образца.

Возрастающая сложность проектов, а также необходимость совместной работы различных групп проектировщиков, заставляют использовать альтернативные методы, ориентированные на использование новых инструментов проектирования, позволяющих сократить время и стоимость разработки.

Проблема при традиционном подходе к проектированию систем управления состоит в том, что физические прототипы разрабатываемых систем управления являются несовершенными и дорогими. Кроме того, при ручной разработке алгоритма работы системы обычно возникают ошибки в программировании. Дальнейшее тестирование системы управления приводит к обнаружению указанных ошибок, но часто лишь на конечной стадии отладки.

В настоящее время вариант с непосредственным программированием приемлем лишь для простых систем или небольших фрагментов большой системы, для которых нет стан-

дартных решений. Именно поэтому в большинстве случаев представляется целесообразным использовать универсальный инструментарий для разработки управляющего ПО [1].

Предлагаемый метод позволил объединить в непрерывный интерактивный процесс различные этапы разработки системы: имитационное моделирование; разработка системы управления; отладка и тестирование (рис. 2).

Метод разработан на базе системы реального времени *Real-Time Windows Target*, позволяющей выполнять автоматическую генерацию исполняемого кода и гарантировать отсутствие

ошибок ручного программирования, обеспечивая широкие возможности для последующего циклического тестирования [2].

Для работы на начальном этапе без использования физических объектов была разработана имитационная модель силовой части UPFC на платформе *Matlab/Simulink*, в дальнейшем называемая исполняемой моделью. Для отладки разрабатываемой системы управления преобразователем могут применяться: программное моделирование, процессорно-программное моделирование, аппаратно-программное моделирование.

На рис. 3 показана структурная схема программного моделирования. При таком решении откомпилированный и сгенерированный С-код для локальной операционной системы впоследствии выполняется в имитационной модели. Например, создается *Windows Dynamic Linked Library (DLL)*.

Для программного моделирования используется *Embedded Coder*, который автоматически формирует соответствующую оболочку, вызывающую код. Данная схема тестирования предназначается для отладки системы управления, работающей в режиме реального времени с представленной в *Simulink* моделью управляемого объекта.

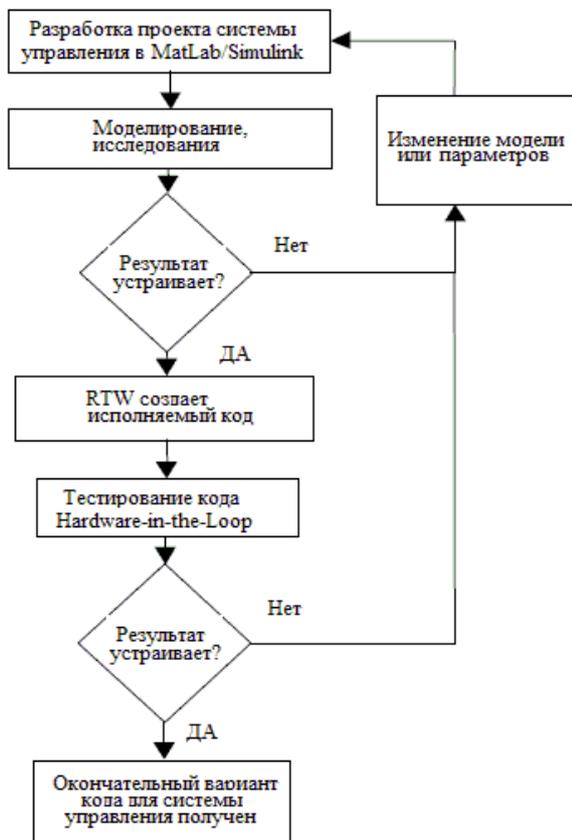


Рис. 2. Интерактивный процесс разработки прототипа системы управления

Схема процессорно-программного моделирования приведена на рис. 4. При этом используются: персональный компьютер с созданными моделями закона управления и управляемого объекта; внешний микропроцессор, требующий программирования.

Процессорно-программное моделирование является методом, предназначенным для оценки эффективности тестируемой системы управления. В *Simulink* такая возможность предоставляется пакетом *Embedded Target*. Откомпилированный сгенерированный С-код загружается в выбранный микропроцессор, после чего он выполняется на данном микропроцессоре совместно с моделью управляемого объекта, созданной в *Simulink*.

Схема программно-аппаратного моделирования показана на рис. 5. В этом случае основными компонентами являются: компьютер с моделью закона управления; плата ввода/вывода; управляемый физический объект.

Использование данной схемы является в настоящее время одним из наиболее простых и доступных решений для создания прототипов системы управления. Аппаратно-программное моделирование за рубежом часто называют системой "все в одном" для быстрой разработки прототипов ("*one-box rapid prototyping system*"), поскольку и *Simulink*, и сгенерированный *Real-Time Windows Target* код выполняются на одном и том же компьютере.

В составе *Matlab/Simulink* имеется библиотека *Real Time Windows Target Blokset*. В ней содержатся типовые блоки ввода-вывода “*Analog Input*”, “*Digital Input*” и “*Digital Output*”. Каждый такой блок можно назначить соответствующему каналу платы ввода-вывода.

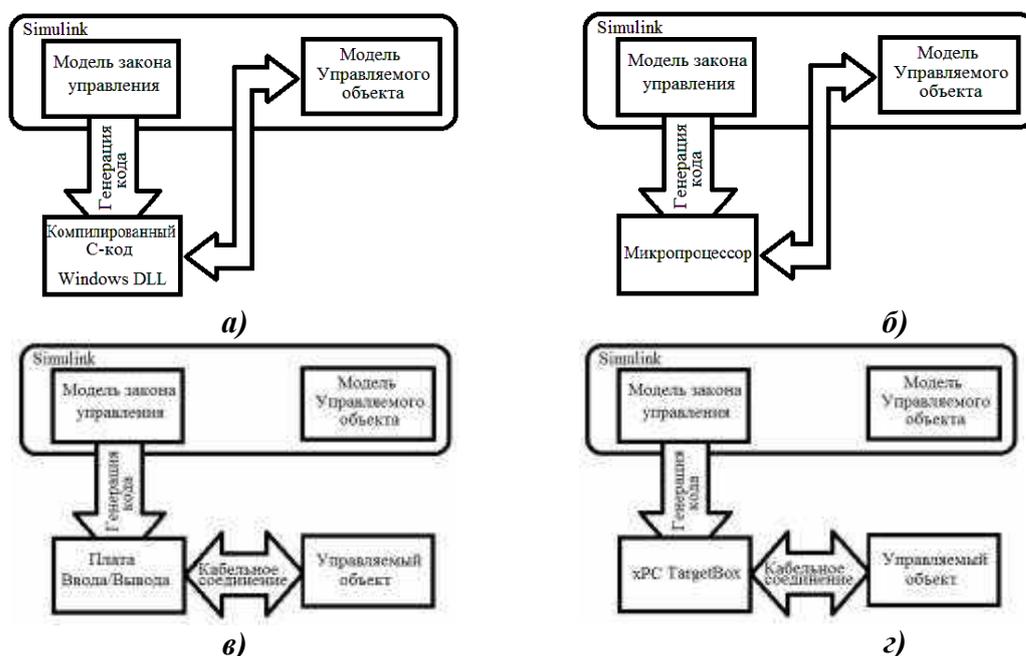


Рис. 3. Структура программного моделирования:

а - программное моделирование; *б* - процессорно-программное моделирование; *в* - программно-аппаратное тестирование; *г* - использование *xPC Target*

После размещения соответствующего блока ввода-вывода в модели следует выбрать в его настройках “*Install New Board*”, после чего из выпадающего списка производителей выбрать плату.

Под многозадачной системой *Windows* порой не удается использовать все возможности платы ввода-вывода при высокой частоте ее опроса. В этом случае следует воспользоваться пакетом *xPC Target*. В данном случае создается модель системы управления в *Simulink*, но соответствующие блоки ввода-вывода выбираются из библиотеки *xPC Target*.

Целевой компьютер в дальнейшем будет выполнять задачу в реальном времени и передавать данные на хост-компьютер по *TCP/IP* или *RS232*. Мониторинг работы управляемого объекта и настройка параметров работы системы управления производится на хост-компьютере (рис. 6).

Следует отметить, что пакет *xPC Target* накладывает более жесткие ограничения на число поддерживаемых им плат ввода-вывода по сравнению *Real-Time Windows Target* и использование этого инструмента представляется целесообразным лишь в случае, когда пакет *Real-Time Windows Target* не позволяет получить желаемый результат по быстродействию выполняемых операций из-за недостаточной производительности используемого компьютера.

Алгоритм, иллюстрирующий работу пакета *Real-Time Windows Target (RTW)*, приведен на рис. 4.

Пакет расширения *RTW* позволяет создавать файлы на языке *C/C++*, а также исполняемые *exe*-файлы для программ системы *Matlab/Simulink*. При этом обеспечивается автоматический подбор необходимых библиотек и компоновку программных модулей с их последующей компиляцией.

На рис. 5 показана последовательность создания требуемого исполняемого файла с *RTW*.

Вначале в *Simulink* подготавливается файл некоторой модели, например, *model.mdl*. Данный файл вместе с системным файлом *system.tmf* поступает в утилиту *Build* пакета *RTW*.

Полученный файл вместе с необходимыми для компиляции системными и библиотечными файлами передается в компилятор *Target Language Compiler (TLS)*. В результате компиляции в указанной в качестве рабочей папке создается набор файлов, в состав которого входит файл *model.c*, задающий точку входа в программу. Все сформированные файлы поступают на вход утилиты *Make*, результатом работы которой является исполняемый файл *model.exe*. Полученный файл может быть вызван как средствами *Matlab*, так и средствами операционной системы.

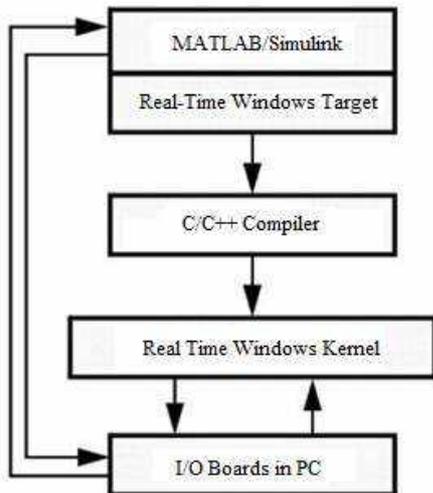


Рис. 4. Алгоритм работы *Real-Time Windows Target*

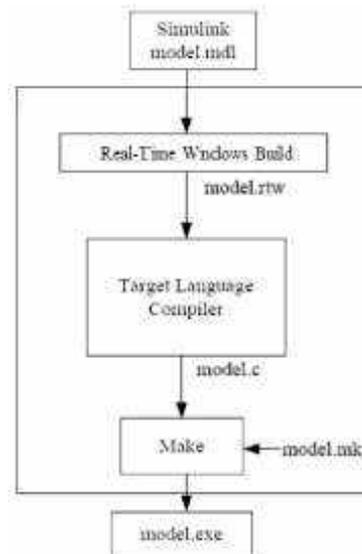


Рис. 5. Алгоритм работы пакета *Real-Time Windows Target*

Файл *model.exe* может быть использован для работы с платами расширения, имеющими встроенное программное обеспечение. Таким образом создается замкнутая система управления внешними устройствами. Режим внешнего управления позволяет осуществлять динамическую настройку параметров исполнения, созданных пакетом *RTW* кодов за счет применения *Application Program Interface (API)* операционной системы *Windows*. В результате получается среда разработки программного кода, обычно называемая средой быстрого макетирования (*rapid prototyping program framework*).

Процесс создания исполняемых кодов моделей имеет некоторые ограничения. Для того чтобы модель системы управления экспортировать в *dll*-библиотеку, необходимо исключить из нее компоненты, производящие какие-либо операции ввода/вывода, также компоненты, для которых в системе *Matlab/Simulink* отсутствуют исходные коды или компиляция которых невозможна. Например, в состав компилируемых моделей нельзя включать *S*-функции. Обязательным условием работы модели в режиме реального времени является исключение из ее структуры всех алгебраических петель. Под алгебраической петлей понимается необходимость подачи сигнала в систему на текущем шаге интегрирования из последующего. Необходимо, чтобы модель системы управления в *Simulink* обязательно была дискретной и ее следует запускать в режиме *External* при заданном дискретном шаге опроса.

Работа над созданием прототипа системы управления *UPFC* состояла из следующих основных этапов:

- моделирование систем и подсистем *UPFC* в пакете *Matlab/Simulink*;
- проектирование закона управления *СУ* и имитация его работы на модели преобразователя;
- реализация *СУ* на базе промышленного компьютера с использованием пакета реального времени *Real-Time Windows Target*;
- проверка и тестирование разработанной системы управления в режиме реального времени по схеме программно-аппаратного тестирования на промышленном компью-

тере *iROBO-5000-93i3* с установленной операционной системой *Windows 7 Professional 32bit*.

По окончании проверочных и отладочных работ функционирование системы управления было испытано на реальном опытном образце UPFC мощностью 20 кВА.

Рассмотренный пример по разработке системы управления UPFC может быть успешно применён при создании практически любых устройств преобразования параметров качества напряжения электрических сетей. Таким образом, при разработке прототипов и алгоритмов СУ преобразователями наиболее целесообразным представляется их реализация и настройка на имитационной модели, а не на физической аппаратной установке системы управления.

Такой подход позволяет: во-первых создать законченную работоспособную СУ; во-вторых - непосредственно перейти к управлению реальным объектом сразу же после окончания исследований, исключая дополнительные затраты на адаптацию при внедрении разработанной системы. Кроме того, он открывает большие возможности по созданию новых алгоритмов СУ и их отладки в лабораторных условиях без конструктивных изменений.

Библиографический список

1. <http://old.lvk.cs.msu.su/index.php/articles/710>, "A Hardware-in-the-Loop Simulation Environment for Real-Time Systems Development and Architecture Evaluation"
2. <http://www.mathworks.com, products, xpctarget>, "xPC Target Getting Started Guide R2012A"

*Дата поступления
в редакцию 15.12.2014*

V.I. Grebenshikov, A.I. Chivenkov, V.V. Sevastyanov, I.A. Zakharov

DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEMS OF INTELLIGENT CONTROLLERS ELECTRICAL ENERGY QUALITY PARAMETERS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: development of control systems of intelligent controllers

Desing/methodology/approach: questions of use of the universal tools for prototyping control systems of power electronics using with a packet of programming of non-linear dynamic systems Simulink/SimPowerSystems in real time according to the scheme of hardware-software testing of "Hardware in the Loop" are considered.

Findings: the approach allows to create a complete functional SU b can go directly to the management of the real object immediately after the end of studies.

Ressearch limitations/implications: control systems of intelligent controllers electrical energy quality parameters.

Originality/value: the approach opens up great opportunities to create new algorithms su and debug them in laboratory conditions without structural changes of the physical installation

Key words: The prototype control system, power electronics, MATLAB-SIMULINK, SimPowerSystems, Real-Time Windows Target, xPC Target, Hardware in the Loop.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Материалы региональной молодежной научно-практической конференции «Система менеджмента качества в машиностроении. Повышение уровня конкурентоспособности выпускаемой продукции» (Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 10–11 декабря 2014 г.)

УДК 536.248

Г.Л. Лямкин¹, В.В. Стешов²

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕТОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ТРУБЫ ВОДО-ВОЗДУШНЫМИ КАПЕЛЬНЫМИ СТРУЯМИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО «ЦНИИ «Буревестник», Нижний Новгород²

Исследована интенсивность теплообмена при охлаждении внутренней поверхности нагретой трубы водо-воздушными капельными струями. Рассмотрены конструкции форсунок и их расположение в процессе охлаждения.

Ключевые слова: теплообмен, форсунка, орошение, кипение.

Цель данной работы – исследование интенсивности теплообмена при охлаждении внутренней поверхности нагретой металлической трубы путем орошения этой поверхности водо-воздушными капельными струями. Эти струи формируются некоторым числом гидропневматических форсунок, которые по условиям, заданным конструкцией целевого изделия, могут располагаться только снаружи трубы у одного из ее торцов. По условиям целевого изделия форсунки должны максимально равномерно орошать поверхность трубы на глубину до 1500 мм. Ось каждой из форсунок расположена под индивидуальным углом наклона к оси ствола, что позволяет минимизировать столкновение струй, закрутить общий поток газожидкостной смеси и обеспечить, таким образом, равномерное орошение поверхности и эффективный теплообмен. Конструктивная схема данного типа охлаждения приведена на рис. 1.

Конструктивная схема проточной части форсунки приведена на рис. 2. Подвод воды осуществляется по центральному каналу, а воздуха – по кольцевому.

Данное конструктивное решение выбрано по следующим соображениям.

Нагрев трубы осуществляется циклически при одном полностью закрытом торце. Время для охлаждения между циклами нагрева существенно ограничено и не позволяет осуществлять продувку одним воздухом, так как количество тепла, которое необходимо снять, достаточно велико и составляет 100-200 кДж за время менее 1 с. К тому же, поскольку целевое изделие мобильно, держать на борту большой запас сжатого воздуха неприемлемо, а мощность компрессора ограничена возможностями бортовой энергоустановки.

Гидропневматическая форсунка обеспечивает хороший распыл жидкости при больших секундных расходах и, соответственно, больших проходных сечениях проточной части. Недостатком ее является малый к.п.д.

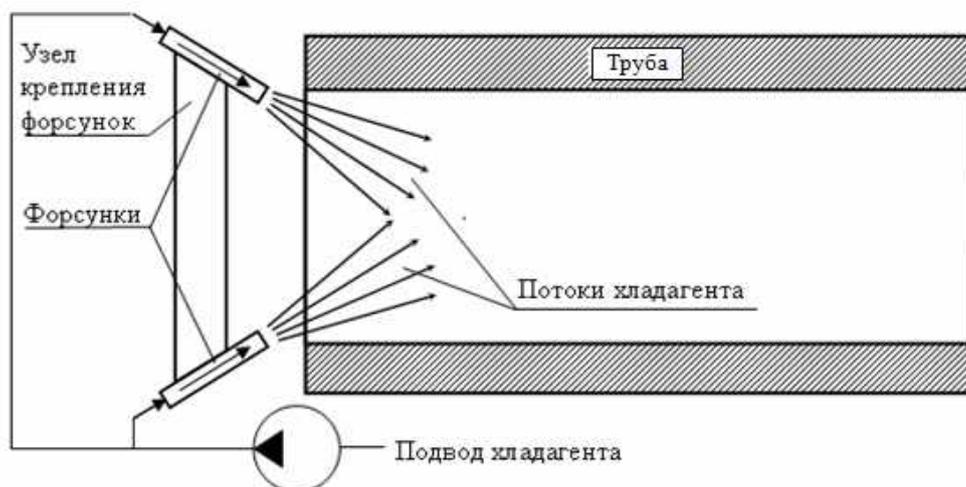


Рис. 1. Конструктивная схема системы форсуночного впрыска

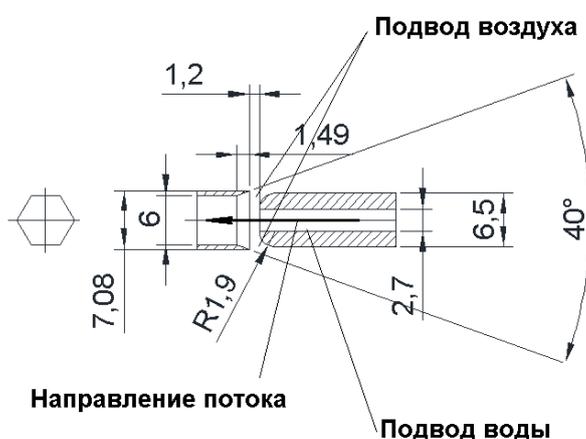


Рис. 2. Схема форсунки гидропневматической

Оптимальным хладагентом для такой системы является вода, так как она имеет, во-первых, малую вязкость, а сама вязкость мало зависит от температуры. Вследствие этого гидравлическая характеристика форсунок стабильна, то есть форсунка не требует регулировки при изменении температуры жидкости.

Во-вторых, вода обладает наибольшей теплоемкостью и теплотой испарения из доступных жидкостей, нетоксична и химически устойчива в рассматриваемом диапазоне температур. Недостатком является относительно низкая испаряемость. Однако данный недостаток является практически единственным, не считая невозможности работы при отрицательных температурах окружающей среды.

Для работы в холодное время года наиболее близкой к воде по свойствам жидкостью является смесь воды и этилового спирта с концентрацией последнего 55%. Данная смесь является относительно малотоксичной, негорючей и замерзает при температуре ниже -40°C . Также эта смесь обладает большими теплоемкостью, удельной теплотой испарения и при этом также как и вода обладает малой вязкостью, не зависящей от температуры. Недостаток ее тот же, что и у воды - относительно низкая испаряемость.

Экспериментальная установка, на которой исследовалась интенсивность теплообмена, состоит из:

- трубы, в нескольких сечениях которой установлены датчики температуры, причем в одном сечении установлено по две группы датчиков с противоположных сторон по окружности. В каждой группе установлено по три датчика, расположенных в 0,5, 4 и 11 мм от внутренней поверхности;

- системы электрического нагрева трубы с теплоизоляцией наружной поверхности;
- измерительного комплекса, регистрирующего температуру с датчиков по 24 каналам;
- форсуночного узла, формирующего несколько водовоздушных капельных факелов;
- гидронефмосистемы, подающей к форсункам воду и воздух;
- системы управления.

Схема установки термомпар на трубе приведена на рис. 3.

	Наружная	Средняя	Внутренняя		Внутренняя	Средняя	Наружная
IV сечение	24	23	22		19	20	21
III сечение	18	17	16		13	14	15
II сечение	12	11	10		7	8	9
I сечение	6	5	4		1	2	3

Рис. 3. Схема установки термомпар

Эксперименты проводились в двух вариантах.

Вариант первый: рабочий участок установки прогревался до состояния, когда контрольная термомпара №7 (рис. 3) показывала значение 120°C .

Вариант второй: рабочий участок установки прогревался до состояния, когда контрольная термомпара №7 показывала значение 150°C .

Для каждого из вариантов проводился:

- эталонный нагрев, когда по достижении контрольной температуры нагрев выключался и производилась запись остывания при естественном охлаждении на воздухе в течение 20-30 мин;
- нагрев и последующий впрыск водовоздушной смеси через форсунки на внутреннюю поверхность установки с автоматическим отключением нагрева в момент начала впрыска.

Каждый вариант был повторен два раза.

Для каждого из вариантов подбиралось значение расхода воды, при котором испарение максимально, но объем неиспарившейся части можно измерить с приемлемой точностью.

Для корректного измерения объема неиспарившейся части воды были сделано следующее:

- труба установки была наклонена вниз на небольшой угол в сторону устройства, на котором укреплены форсунки, для того чтобы неиспарившаяся вода быстрее вытекала из трубы;
- под торцом трубы была укреплена емкость для сбора неиспарившейся воды.
- другой торец трубы установки был закрыт, чтобы вся вода при впрыске оставалась в трубе и не вылетала за пределы установки при распылении.

Измерение объема неиспарившейся воды производилось мензуркой.

Также проводилось измерение прогреваемой до температуры насыщения длины поверхности трубы. Измерялась длина сухой части трубы после вытекания всей неиспарившейся воды. Измерение проводилось рулеткой с ценой деления 1 мм. Границы сухой части определялись визуально.

В процессе проведения экспериментов возникла необходимость скорректировать углы установки форсунок как в осевом, так и в тангенциальном направлениях. В результате осевой угол установки был скорректирован до 20° .

Во-вторых, чтобы уменьшить столкновение струй, бьющих из форсунок, и придать общему потоку вихревой характер, был установлен тангенциальный угол 12° .

Для первого варианта был подобран расход 50 мл, при этом количество неиспарившейся воды, измеренное в ходе серии опытов, было от 10 до 30 мл (определялось визуально), из чего был сделан вывод о том, что объем испарившейся воды в данном варианте составляет в среднем 30 мл.

Для второго варианта был подобран расход 75 мл. При этом количество неиспарившейся воды, измеренное в ходе серии опытов, было 10 до 20 мл (определялось визуально), из чего был сделан вывод о том, что объем испарившейся воды в данном варианте составляет в среднем 60 мл.

Длина сухой части трубы составила в обоих вариантах 820 мм.

Величины теплосъема и некоторые другие теплофизические параметры, рассчитанные по тепловому балансу при обработке результатов экспериментов, показывают, что в процессе впрыска сначала реализуется пузырьково-пленочный режим кипения на раскаленной стенке с относительно крупными пузырями пара, периодически оттесняющими кипящую жидкость от стенки. За счет кипения снимается 82% энергии для варианта 1 и 85% для варианта 2. Остальная энергия снимается за счет конвективного теплообмена стенки с водой. Процесс охлаждения занимает, в среднем, 0.98 сек для варианта 1 и 1.17 с для варианта 2. При этом длительность кипения составляет: 0.44 с (0.27 с без учета аномального значения) для варианта 1 и 0.76 с для варианта 2.

Рассчитанные коэффициенты теплоотдачи при кипении для варианта 1 составляют от 17070 до 23540 Вт/м²•К, а для варианта 2 от 18960 до 21340 Вт/м²•К в зависимости от того, какие экспериментальные значения включаются в усреднения.

Рассчитанные коэффициенты теплоотдачи при конвекции составляют 699 Вт/м²•К для варианта 1 и 725 Вт/м²•К для варианта 2.

Расчеты, проведенные для сравнения по формулам для пузырькового кипения в большом объеме, показали, что расчетные и определенные по результатам экспериментов значения коэффициентов теплоотдачи с точностью до 5% совпадают. Это позволяет сделать вывод о том, что процессы кипения капель на стенке при умеренных перегревах стенки (до 50°C) протекают практически аналогично процессам при кипении жидкости в большом объеме. Кризисные явления, по-видимому, сдвинуты в данном случае в область более высоких температур.

Также расчеты показали, что для обоих вариантов количество снятого тепла не превышает 100 кДж при плотности теплового потока 400-500 кВт/м².

Эксперименты также показали, что у данной системы охлаждения есть существенный недостаток - неравномерность орошения. Она связана, как показали дополнительные эксперименты без нагрева и с применением прозрачной трубы, с эффектом столкновения струй. Этот эффект приводит, во-первых, к искажению формы факелов (отклонению), а во-вторых, к укрупнению части капель, летящих в сторону стенки. В результате получается, что одни части поверхности заливаются сплошной пленкой жидкости значительной толщины, другие же остаются практически неорошенными. Характер процессов охлаждения на разных частях поверхности трубы приведен на рис. 4.

На рис. 4 различные кривые показывают изменение температуры во времени в процессе впрыска и непосредственно после него в различных сечениях трубы. Пунктиром обозначены интервалы кипения в данных точках. Из рисунка можно сделать вывод, что интенсивность теплообмена в разных точках существенно разная. Поэтому требуются дополнительные исследования других конструктивных исполнений такой системы охлаждения по уменьшению или полному устранению эффекта столкновения струй.

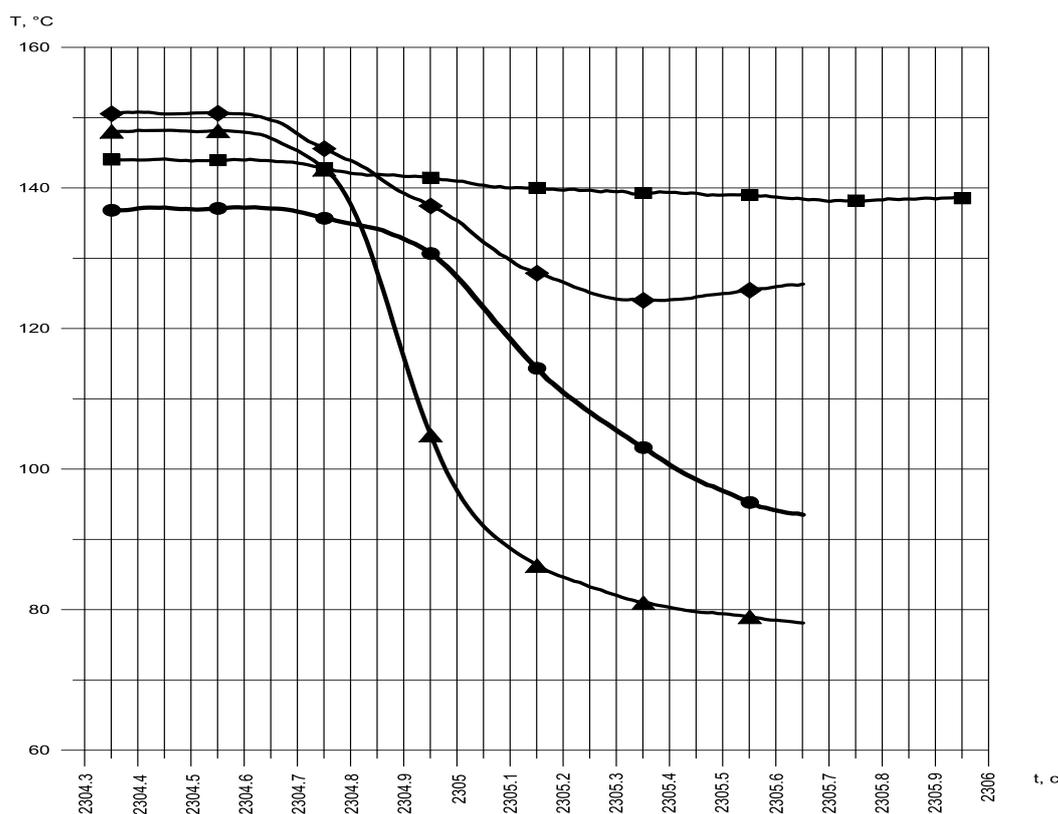


Рис. 4. Изменение температуры в различных сечениях трубы при впрыске

Библиографический список

1. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. – М., Атомиздат, 1979.
2. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: Энергия, 1977.
3. Пиоро, И. Л. Эффективные теплообменники с двухфазными термосифонами / И. Л. Пиоро, В. А. Антоненко, Л. С. Пиоро. – Киев, Наукова думка. 1991.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

G.L. Liamkin¹, V.V. Steshov²

RESEARCH OF HEAT-EXCHANGE RATE WHEN COOLING THE INNER SURFACE OF A HOT METAL PIPE WITH AIR-AND-WATER DRIP JETS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
CRI Burevestnik, JSC, Nizhny Novgorod²

Heat-exchange rate of the inner surface of a hot metal pipe, being cooled with air-and-water drip streams, was investigated. A design of nozzles and their positioning during cooling is described.

Key words: heat-exchange, nozzle, spraying, boiling.

УДК 623.418

В.В. Стешов¹, Г.Л. Лямкин²**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА ВНУТРЕННЕЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СТВОЛА АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУДИЯ СРЕДНЕГО КАЛИБРА**ОАО «ЦНИИ «Буревестник»¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Рассмотрен экспериментальный способ подбора параметров настройки форсунок, обеспечивающих равномерное покрытие охлаждающим составом внутренней поверхности ствола.

Ключевые слова: артиллерия, охлаждение ствола, гидropневматическая форсунка эксперимент, стенд.

Экспериментальные данные и результаты расчетов показывают, что приемлемым решением задачи поддержания температуры внутренней поверхности камеры артиллерийского орудия среднего калибра на уровне не более 170°C является только принудительное охлаждение впрыском жидкостно-воздушной смеси, что обусловлено следующим.

Во-первых, значительная (>50 мм) толщина стенки камеры делает бессмысленным применение каких-либо наружных по отношению к стволу систем охлаждения, так как определяющим является термическое сопротивление стенки. При этом следует отметить, что, несмотря на положительный аккумулярующий эффект толстой стенки в периоде одного боевого дня, эффект этот не может проявиться в значимой мере в периоде одного огневого налета.

Во-вторых, при темповой стрельбе основная тепловая нагрузка сосредотачивается в тонком слое толщиной менее 5 мм, расположенном у внутренней поверхности. Это происходит вследствие того, что переток тепла в более глубокие слои происходит приблизительно на один-два порядка медленнее, чем приход тепла с внутренней поверхности при конвективном теплообмене с пороховыми газами.

В-третьих, большие значения давления в таких орудиях при стрельбе на максимальном заряде (400 МПа и выше) не позволяют выполнить в стенке камеры продольные каналы для циркуляции охлаждающей жидкости близко к внутренней поверхности по условиям прочности и технологичности. Поэтому снятие тепла непосредственно с внутренней поверхности является в данном случае оптимальным решением.

В-четвертых, относительно низкая скорострельность орудий среднего калибра даже с учетом современных требований позволяет в рамках одного цикла выделить достаточно времени как для самого процесса впрыска, так и для выкипания жидкости со стенок камеры.

Поэтому создание системы охлаждения ствола артиллерийского орудия среднего калибра сводится главным образом к разработке узла подачи охлаждающей смеси, обеспечивающей оптимальный теплоотвод с внутренней поверхности камеры. Важное значение имеет расположение форсунок в узле подачи (форсуночном узле) и их способность создавать смесь необходимого качества, формы и размеров факела распыла.

В связи с этим необходимо в первую очередь отработать конструкцию форсунки.

К особенностям форсунки, которая, в свою очередь, обусловлена условиями эксплуатации орудия и режимом работы системы охлаждения, следует отнести большое проходное сечение. Выбор такого сечения обусловлен, с одной стороны, малым временем работы системы охлаждения и относительно небольшими, от 8 до 12 атм, давлениями рабочих сред. Один цикл работы составляет 0,2-0,4 с, и за это время система охлаждения должна впрыснуть в камеру до 0,5 л воды. Несмотря на то, что форсунок несколько, расход жидкости через 1 форсунку в таких условиях составляет до 0,35 кг/с. С другой стороны, при эксплуатации

изделия возможна ситуация, когда охлаждающая жидкость будет пополнена водой с механическими примесями (грунт), и обеспечение надежной работы форсунок возможно только при условии достаточно большого проходного сечения. Большое сечение сопла и необходимость тонкого распыла жидкости обуславливают также тип форсунки - гидропневматическая, так как у чисто гидравлической форсунки тонкость распыления напрямую зависит от диаметра сопла, а у гидропневматической - от соотношения скоростей воздуха и жидкости.

Другая особенность форсунки - узкий конус факела распыления – обусловлена конструкцией форсуночного узла, расположенного у торца камеры таким образом, что несколько форсунок должны максимально равномерно орошать внутреннюю поверхность трубы под очень малыми ($8-12^\circ$) углами относительно ее продольной оси. При этом возникает эффект сталкивания струй, минимизация которого возможна в том числе путем проектирования проточной части форсунки, обеспечивающий узкий ($15-17^\circ$) конус факела распыления. Расчеты показали, что данный угол может быть достигнут при увеличении длины камеры смещения и выходного сопла в совокупности до величины не менее пяти диаметров выходного сопла. В данной форсунке она составляет 35-38 мм в зависимости от регулировки при диаметре сопла 6 мм, то есть 5,83-6,33 диаметра.

С целью проверки таких характеристик данной форсунки, как угол факела распыления и пропускная способность были проведены эксперименты.

При проведении экспериментов одна форсунка была укреплена так, чтобы распыление шло в свободное пространство горизонтально полу помещения, где проводились эксперименты. К форсунке были подключены вода и сжатый воздух с возможностью регулировки давления каждой из сред индивидуально в диапазоне от 6 до 12 атм. Для моделирования процесса впрыска экспериментальная установка была подключена к устройству дозирования, управляемому контроллером.

В результате экспериментов было подтверждено, что угол конуса в факеле распыления не превышает 15° , и к тому же на расстоянии около 1 м образующая конуса плавно искривляется внутрь, образуя фигуру, напоминающую далее вдоль по потоку скорее цилиндр, чем конус (рис. 1).

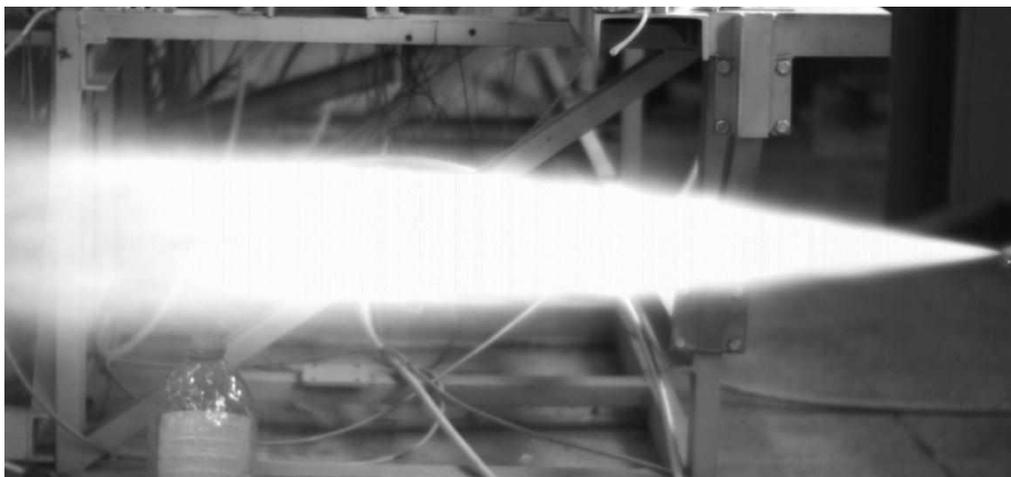


Рис. 1. Факел форсунки

Дальнобойность данной форсунки превысила 5 м, что более чем достаточно для работы в составе изделия, где требуемая дальнобойность не превышает 1,5 м.

Вследствие высокой динамики процесса впрыска и его малого времени установить расходомер для измерения количества жидкости не представлялось возможным, поэтому измерение расхода жидкости производилось следующим образом. Время впрыска определялось по значениям, введенным в контроллер системы дозирования, а также по собственным измерениям контроллера от срабатывания датчиков положения, к нему подключенных. Само

количество воды, вылетевшее из сопла за время впрыска, измерялось путем улавливания жидкости в прочный полиэтиленовый пакет большого размера, удерживаемый оператором во время впрыска в непосредственной близости от сопла так, чтобы жидкость оставалась в пакете, а воздух выходил. Вследствие больших скоростей жидкости и большого размера пакета эта система оказалась работоспособна, и выход жидкости из пакета вместе с воздухом оказался пренебрежимо мал, так как в объеме пакета скорость воздуха снижалась в десятки, а возможно и сотни раз.

Были проведены серии экспериментов для определения расхода при варьировании давления рабочих сред от 6 до 12 атм в различных сочетаниях для воздуха и воды. В результате этих экспериментов сначала было установлено, что требуемая пропускная способность может быть обеспечена только при увеличении диаметра водяного сопла с 4 до 5 мм. После доработки сопла были проведены новые эксперименты. В результате их было установлено, что требуемая пропускная способность в совокупности с приемлемой тонкостью распыления обеспечивается при давлении воздуха 8 атм, а жидкости - 12 атм.

Таким образом, погрешность предварительного расчета в одномерном приближении составила около 30% по водяному соплу, однако доработка не потребовала изготовления нового сопла, а только рассверливания существующего. Также доработка не повлекла за собой изменения угла конуса факела и тонкости распыла.

В результате проведенных работ была получена регулируемая гидропневматическая форсунка, обеспечивающая подбор оптимальных параметров подаваемой охлаждающей смеси (рис. 2).

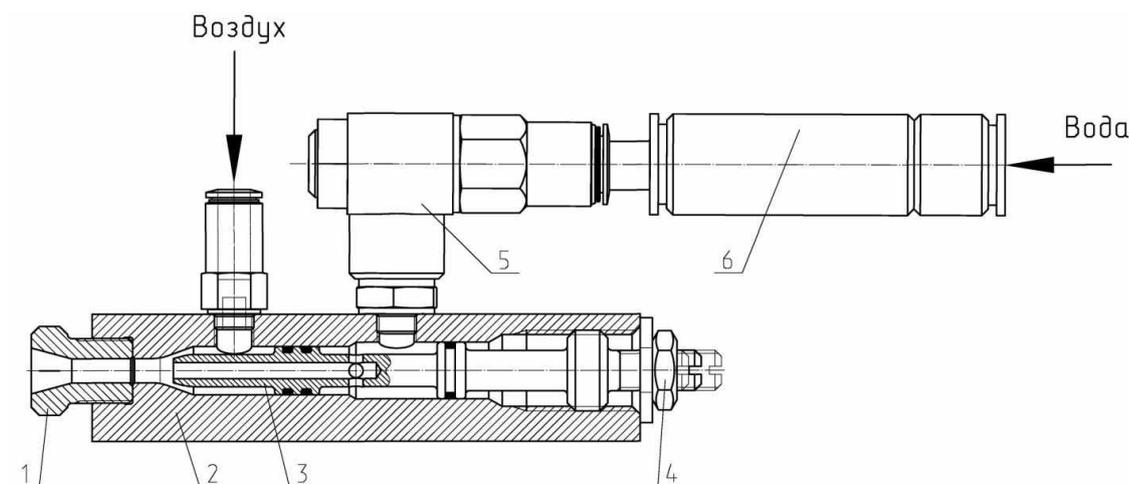


Рис. 2. Форсунка гидропневматическая:

1 – диффузор; 2 – корпус; 3 – сопло; 4 – контргайка; 5 – дроссель; 6 – обратный клапан

Дальнейшие эксперименты проводились в составе экспериментальной установки (рис. 3) по исследованию орошения внутренней поверхности камеры водо-воздушными капельными струями, формируемыми несколькими форсунками, где было определено оптимальное количество форсунок, параметры их пространственного положения, качество и количество смеси, обеспечивающие равномерное распыление охлаждающего состава по внутренней поверхности камеры.

Установка состоит из основания, в котором на цапфах подвешена станина с закрепленным на ней имитатором ствола и форсуночным узлом.

Станина устанавливается на любой угол возвышения. Форсуночный узел (рис. 4) установлен соосно с имитатором ствола и может перемещаться в осевом направлении.

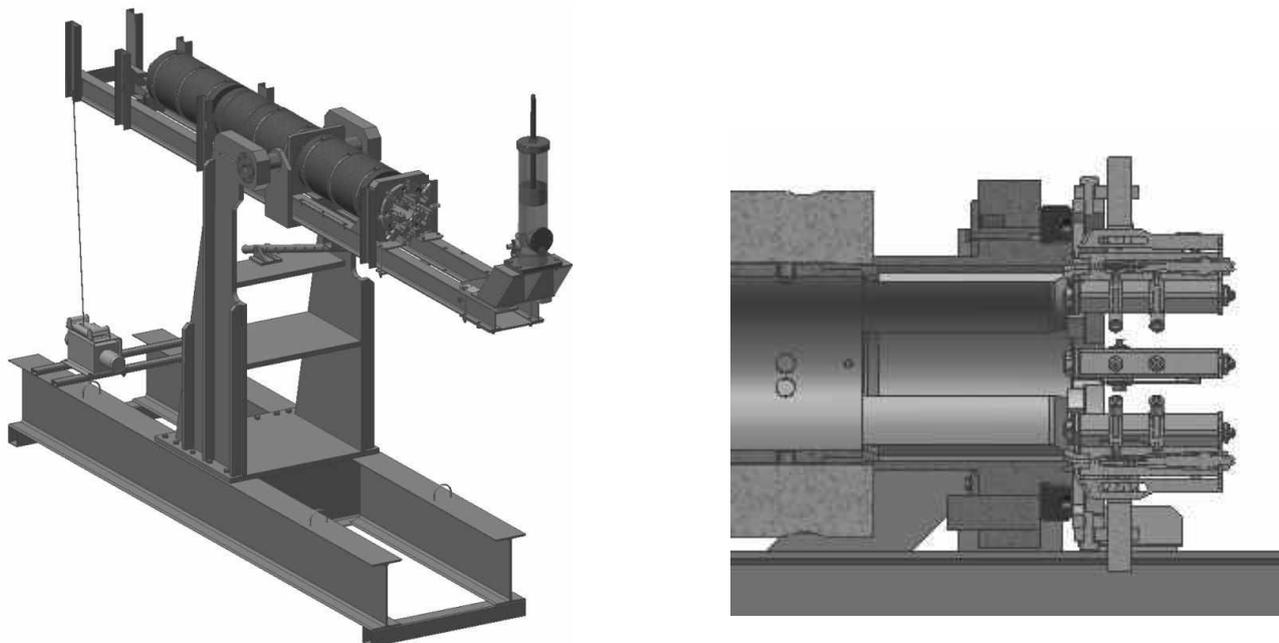


Рис. 3. Стендовая установка по исследованию орошения внутренней поверхности камеры ствола артиллерийского орудия

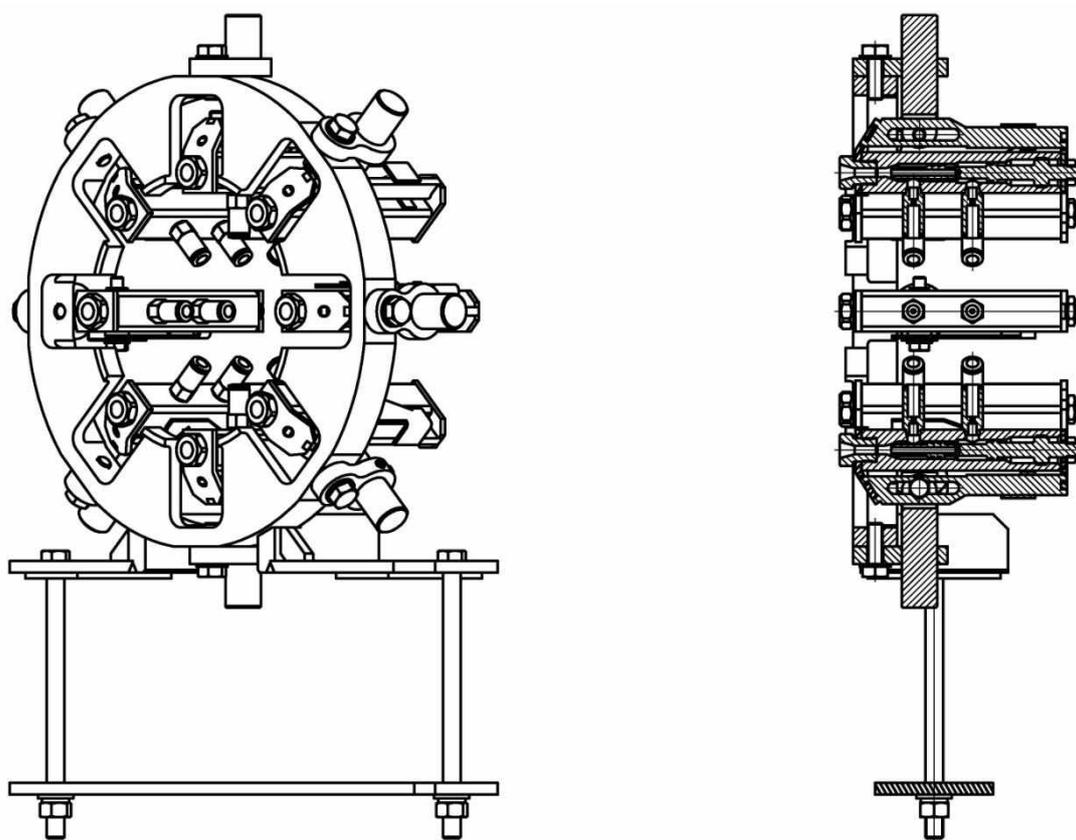


Рис. 4. Узел форсуночный

Положение каждой из восьми форсунок в форсуночном узле регулируется в двух линейных и трех угловых направлениях, что достаточно для проверки всех возможных вариантов подачи охлаждающей смеси.

Подача воды и воздуха осуществляется пневмосистемой установки под управлением контроллера (рис. 5).

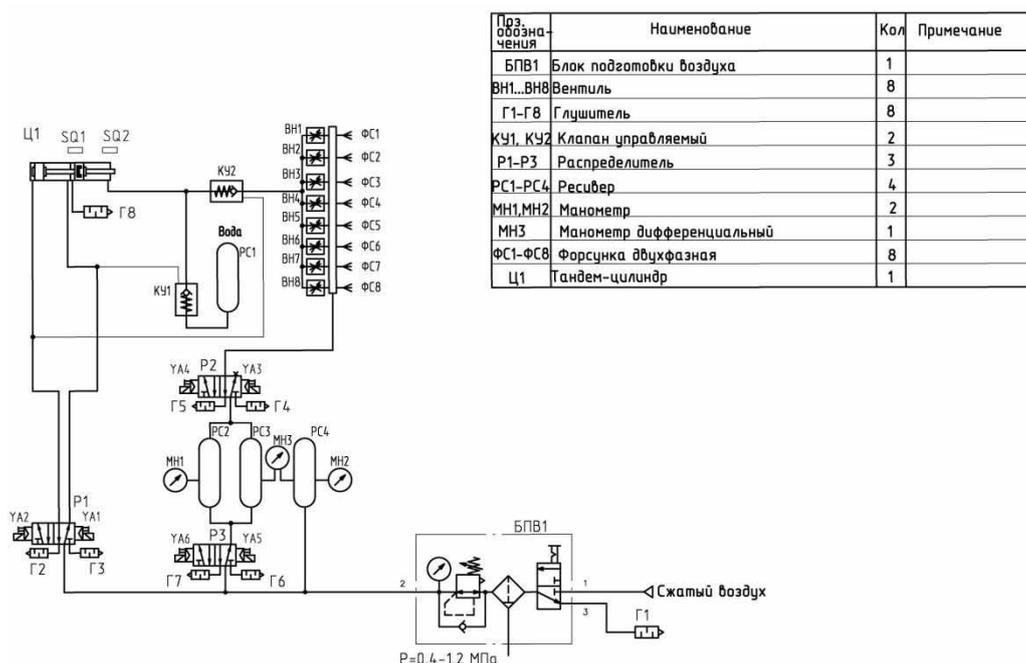


Рис. 5. Схема пневматическая принципиальная установки стендовой

В результате проведенных экспериментов на установке были получены параметры настройки форсунок, при которых обеспечивается равномерное покрытие охлаждающим составом внутренней поверхности камеры, а именно каждая форсунка устанавливалась в положение, обеспечивающее закручивание общего потока по часовой стрелке.

Для подтверждения эффективности системы охлаждения необходимо исследовать интенсивность теплообмена при орошении внутренней поверхности нагретой до 120-150°C камеры водо-воздушными капельными струями, например на экспериментальной установке темповой стрельбы.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

V.V. Steshov, G.L. Liamkin

EXPERIMENTAL DEVELOPMENT OF AN INTERNAL COOLING SYSTEM OF A MEDIUM-CALIBER ARTILLERY BARREL

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev,
CRI Burevestnik, JSC, Nizhny Novgorod

The paper studies an experimental method of adjusting the nozzle parameters so that the inner surface of the barrel is uniformly covered with the coolant.

Key words: artillery, barrel cooling, hydro-pneumatic nozzle, experiment

УДК004.056.53

И.Е. Волкова, А.В. Бухнин, А.Г. Калашникова

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ И ВВОДА ПАРОЛЯ
НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

В ходе разработки было спроектировано и реализовано устройство для аутентификации пользователя информационной системы. В работе приводится описание алгоритма шифрования и схема управляющей программы микроконтроллера. Описывается процесс создания аппаратной части и прошивки устройства. Практическое использование устройства продемонстрировано на примере аутентификации в операционной системе Microsoft Windows.

Ключевые слова: аппаратный ключ, аутентификация, информационная безопасность микроконтроллер, шифрование.

Процедура проверки подлинности учетной записи пользователя является обязательным условием применения современных программных продуктов, таких как операционные системы, а также системы обработки информации (персональной, деловой, финансовой), доступ к которой должен быть ограничен. Распространенным способом аутентификации является использование пароля. Для обеспечения защиты от подбора пароль должен быть достаточно длинным, состоять из символов разного регистра, включать специальные символы и цифры, не включать целые слова. Пароли, удовлетворяющие этим требованиям, обычно трудны для запоминания, что может побудить пользователя записать пароль на бумаге и сделать его потенциально доступным третьим лицам. Избежать подобных случаев может помочь использование аппаратного ключа, который хранит пароль и позволяет его вводить по запросу. Аппаратный ключ – это устройство, предназначенное для защиты программ и данных от несанкционированного использования, копирования и тиражирования.

Существует множество микроконтроллеров и микропроцессорных устройств, предназначенных для создания различных аппаратных средств: Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard и многие другие. Все эти устройства имеют схожие функции и освобождают пользователей от необходимости изучать устройство самого микроконтроллера, давая ему несложный и удобный интерфейс для их программирования [1]. Однако в данной статье рассматривается реализация аппаратного ключа на Arduino. Arduino также упрощает процесс работы с микроконтроллерами, но, в отличие от других систем, предоставляет ряд преимуществ – это: низкая стоимость, кроссплатформенность, простая и удобная среда программирования, расширяемое программное обеспечение с открытым исходным кодом, расширяемое открытое аппаратное обеспечение.

В данной статье рассматривается разработка аппаратного ключа на ArduinoUno, т.к. это наиболее распространенная и универсальная модель Arduino. Однако данную разработку, с некоторыми изменениями, можно также реализовывать на других моделях.

В качестве среды разработки была выбрана стандартная среда программирования Arduino – ArduinoIDE, а в качестве языка программирования – язык Arduino.

Спроектированное устройство реализует несколько функций: генерацию символьного пароля, шифрование сгенерированного пароля с помощью ключа, сохранение зашифрованного пароля в энергонезависимой памяти, расшифровку пароля и ввод расшифрованного пароля.

Для создания такого устройства и реализации всех приведенных функций необходимо было решить ряд задач: создать алгоритм шифрования, создать программу на языке Arduino, осуществить перепрошивку загрузчика.

Шифрование пароля в данном устройстве производится с целью демонстрации того, как можно обеспечить безопасность. Однако конкретный алгоритм и его реализация не обеспечивают полную защиту данных в случае дизассемблирования прошивки. Они служат лишь опорной точкой для дальнейшего развития разработки и усложнения устройства.

Для зашифровки пароля используется ключ из случайных символов, хранящийся в энергонезависимой памяти микроконтроллера и генерируемый вместе с новым паролем. Так как мы не добивались полной защищенности от злоумышленника, сложность алгоритма в данном случае не играет роли, ведь при дизассемблировании прошивки с данным методом шифрования будет взломан любой алгоритм.

Длина ключа и пароля в данном случае фиксированы (32 символа), их длина задается при прошивке устройства. Как видно из блок-схемы алгоритма (рис. 1): $A[i]$ – массив символов ключа, $B[i]$ – массив символов пароля. Сначала каждый символ ключа с помощью функции логического умножения умножается на последующий.

В результате получается набор чисел. Далее поочередно берутся все получившиеся числа и из каждого числа с помощью битовой маски выделяется пять первых и пять конечных бит. (В данном случае пять, так как длина пароля тридцать два символа, что равно двум в пятой степени). Получаются пары чисел, попадающие в диапазон от нуля до тридцати одного включительно. Берется первая пара чисел, а далее из пароля выбираются два числа, чьи порядковые номера совпадают с числами из пары и меняются местами.

Таким образом мы получаем «перемешанный» пароль. Новый «перемешанный» пароль с помощью функции сложения по модулю два складываем с первичным ключом. Зашифрованный таким образом пароль сохраняем в энергонезависимой памяти.

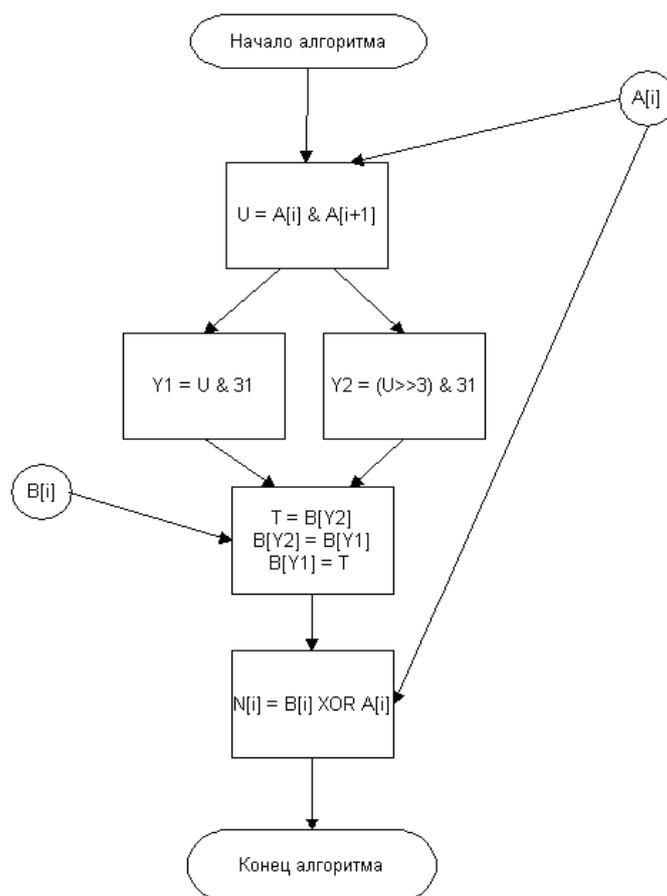


Рис. 1. Блок-схема алгоритма шифрования

При загрузке программы используется Загрузчик (Bootloader) Arduino –небольшая

программа, загружаемая в микроконтроллер на плате. С ее помощью можно загружать программный код без использования дополнительных аппаратных средств [2].

После этих действий можно приступить к проектированию основной программы. Сначала необходимо было создать алгоритм работы программы, для того чтобы четко определить ее структуру и последовательность действий.

После тщательного анализа были определены основные шаги алгоритма (рис. 2):

- выбор нужной функции в зависимости от уровня сигнала на цифровых выводах 2 или 3. На этом этапе в зависимости от того, какая кнопка нажата, программа должна осуществить переход либо на функцию ввода пароля, либо на функцию генерации и сохранения пароля;
- генерация пароля из случайных символов. На данном шаге должна происходить генерация пароля заранее заданной длины, состоящего из случайной последовательности символов – заглавных и маленьких букв и цифр;
- генерация ключа из случайных символов и сохранение его в энергонезависимой памяти. Генерация ключа должна происходить сразу после генерации пароля. Ключ также имеет фиксированную длину;
- шифрование пароля с помощью ключа и сохранение его в энергонезависимой памяти.
- считывание ключа из энергонезависимой памяти;
- расшифровка пароля с помощью первичного ключа, сохраненного в энергонезависимой памяти;
- конвертирование ASCII-кодов символов пароля в HID (human interface device) коды. Это необходимо для того, чтобы вывести символы, так как наше устройство будет определяться как HID;
- передача символов пароля через последовательный порт для их ввода в компьютер.

После создания алгоритма шифрования было решено, что программа будет иметь 14 функций для обеспечения удобства работы программиста. Каждая функция выполняет определенные действия для реализации какого-либо конкретного шага алгоритма программы. Некоторые шаги алгоритма пришлось разбить на несколько функций.

После того, как программа была написана и загружена в микроконтроллер, необходимо было выполнить перепрошивку загрузчика. При использовании стандартной прошивки данное устройство будет определяться компьютером как виртуальный COM-порт и, соответственно, не будет выполнять нужные функции. Поэтому требуется скачать и установить прошивку Arduino-Keyboard-0.3, с которой устройство будет определяться как HID-клавиатура.

Для того чтобы перепрошить загрузчик, необходимо выполнить следующую последовательность действий: сначала с помощью проволоки нужно на короткое время замкнуть два вывода (Reset и GND) Arduino. Затем подключить Arduino к компьютеру, скачать с официального сайта и установить требуемое программное обеспечение (к примеру, программу Flip 3.4.7), а также скачать прошивку. Загрузить прошивку. Переподключить Arduino.

Для завершения аппаратной части устройства потребовалось припаять к плате две кнопки, а также поместить плату в подходящий корпус.

Разработанное устройство работает в двух режимах:

- 1) режим ввода пароля;
- 2) режим генерации пароля.

Для того, чтобы ввести пароль, необходимо:

- включить компьютер. Дождаться, когда на экране появятся поля ввода логина и пароля для авторизации;
- подключить устройство к компьютеру с помощью USB кабеля;
- в поле для ввода логина ввести свой логин (если не введен);
- перевести курсор в поле для ввода пароля и нажать кнопку «1» на устройстве. После того, как пароль будет введен, нажать клавишу Enter;

- удостовериться, что пароль был автоматически введен и вход в систему выполнен.

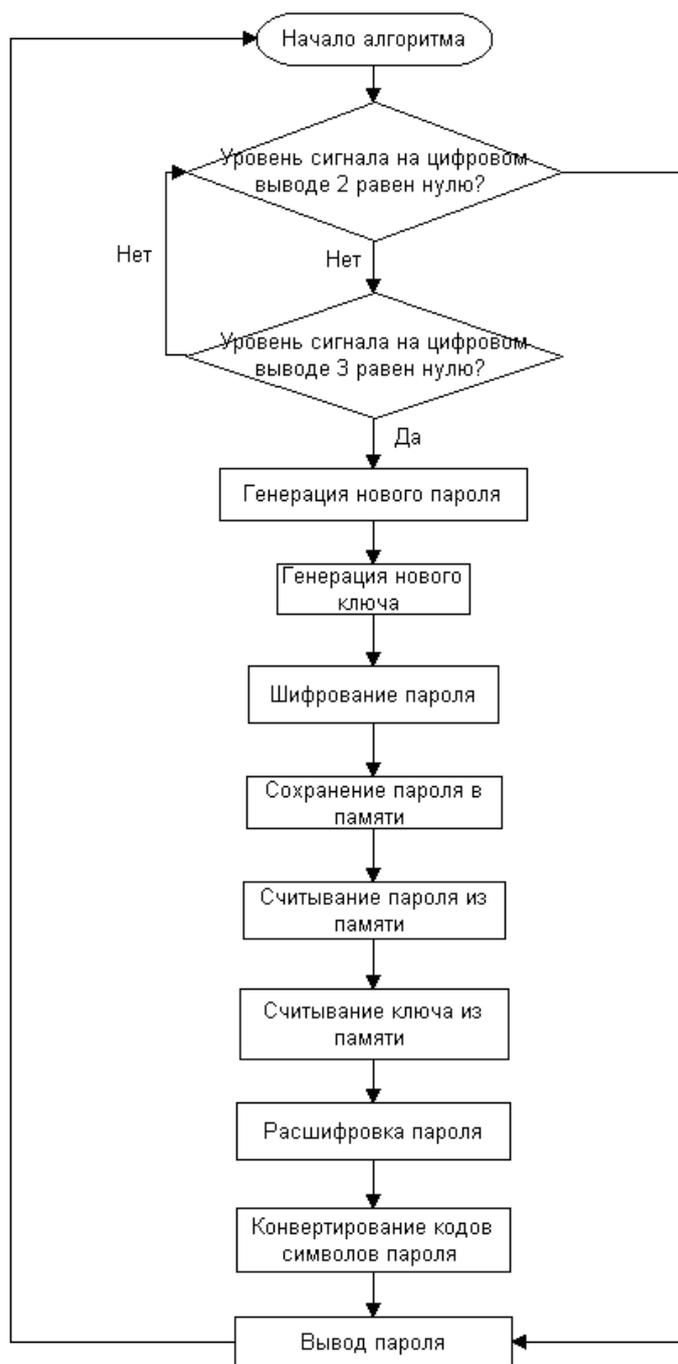


Рис. 2. Блок-схема алгоритма программы

Для того чтобы сгенерировать новый пароль (в системе Windows), необходимо:

- войдя в систему, открыть окно смены пароля (ПУСК->Панель управления -> Учетные записи пользователей -> Выбрать нужного пользователя->Изменение пароля). Подключить устройство к компьютеру с помощью USB кабеля;
- перевести курсор в поле «Старый пароль» и нажать кнопку «1». Удостовериться, что пароль введен;
- теперь перевести курсор в поле «Новый пароль» и нажать кнопку «2». Устройство автоматически сгенерирует новый пароль и сохранит его;

- перейти в поле «Подтверждение» и нажать кнопку «1». Новый пароль будет введен повторно;
- нажать «Изменить пароль» в открытом окне смены пароля.

Пользователю не следует нажимать кнопку «2», если он не собирается менять пароль.

В результате работы было создано устройство для генерации и ввода символьного пароля. Оно является кроссплатформенным аппаратным ключом для входа в информационную систему. Дальнейшим развитием данной разработки может являться усовершенствование алгоритма шифрования, а также создание приложения под операционную систему Windows для обеспечения большей безопасности путем использования шифрующего ключа, привязанного к конкретному компьютеру.

Библиографический список

1. Ардуино в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.ua/ru/about/>, свободный (16.11.2014);
2. Arduino.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://arduino.ru/Arduino_environment, свободный (16.11.2014).

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A. V. Bukhnin, I.E. Volkova, A. G. Kalashnikova

A MICROCONTROLLER BASED DEVICE FOR PASSWORD GENERATION AND ENTERING

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The paper describes design and implementation of a device for user authentication. The encryption algorithm and the scheme of the microcontroller control program are presented. The process of hardware assembling and firmware updating is described. Practical use of the device is demonstrated for authentication in Microsoft Windows operating system.

Key words: authentication, encryption, hardware key, information security, microcontroller.

УДК 621.514.54

В.В. Стешов¹, П.С. Жаднов²**АДАПТАЦИЯ КОМПРЕССОРА ДЛЯ РАБОТЫ
В ТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКЕ С УЧЕТОМ ШИРОКОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО
ДИАПАЗОНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева ¹,
ОАО «ЦНИИ «Буревестник»²

Рассмотрена адаптация компрессора для работы в транспортной установке с учетом значительно меняющегося температурного диапазона окружающей среды.

Ключевые слова: пневматика, компрессор НК-200, транспортная установка, адаптация к более широкому диапазону температур.

Использование пневматики в приводах различных устройств общепромышленного, а особенно специального назначения требует обеспечения работы пневмосистемы (в том числе компрессора) в соответствующих условиях окружающей среды. Например, компрессорные установки подвижного состава железнодорожного транспорта, передвижные компрессорные станции, работающие в условиях Севера, должны функционировать при температуре окружающей среды до $-40...-60^{\circ}\text{C}$. Для обеспечения работы при пониженных температурах вводят предпусковой подогрев, используют масла с низкой температурой застывания и проводят другие мероприятия.

В настоящей статье рассмотрена актуальная проблема работы компрессорного модуля транспортной установки в широком температурном диапазоне окружающей среды.

Для обеспечения потребного расхода пневмопотребителями $6...8\text{ м}^3/\text{мин}$ специализированной транспортной установки требовалось разработать компрессорный модуль, производительностью до $8\text{ м}^3/\text{мин}$ при давлении $1,5\text{ МПа}$, работающий при температуре окружающей среды от -40 до $+50^{\circ}\text{C}$, и имеющий минимальные габаритные размеры. Период времени до замены $1500-2000$ часов.

Ввиду отсутствия компрессоров отечественных и большинства зарубежных производителей, отвечающих предъявляемым требованиям, компрессорный модуль разрабатывался на базе винтового компактного модуля НК-200 (ф. Rotorcomp Verdichter) (рис. 1, 2) общепромышленного назначения.

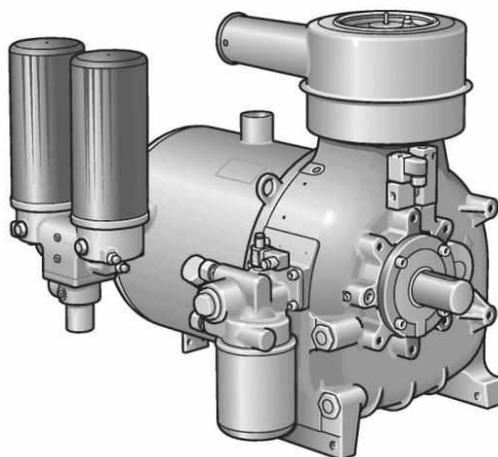


Рис. 1. Внешний вид винтового компактного модуля НК-200

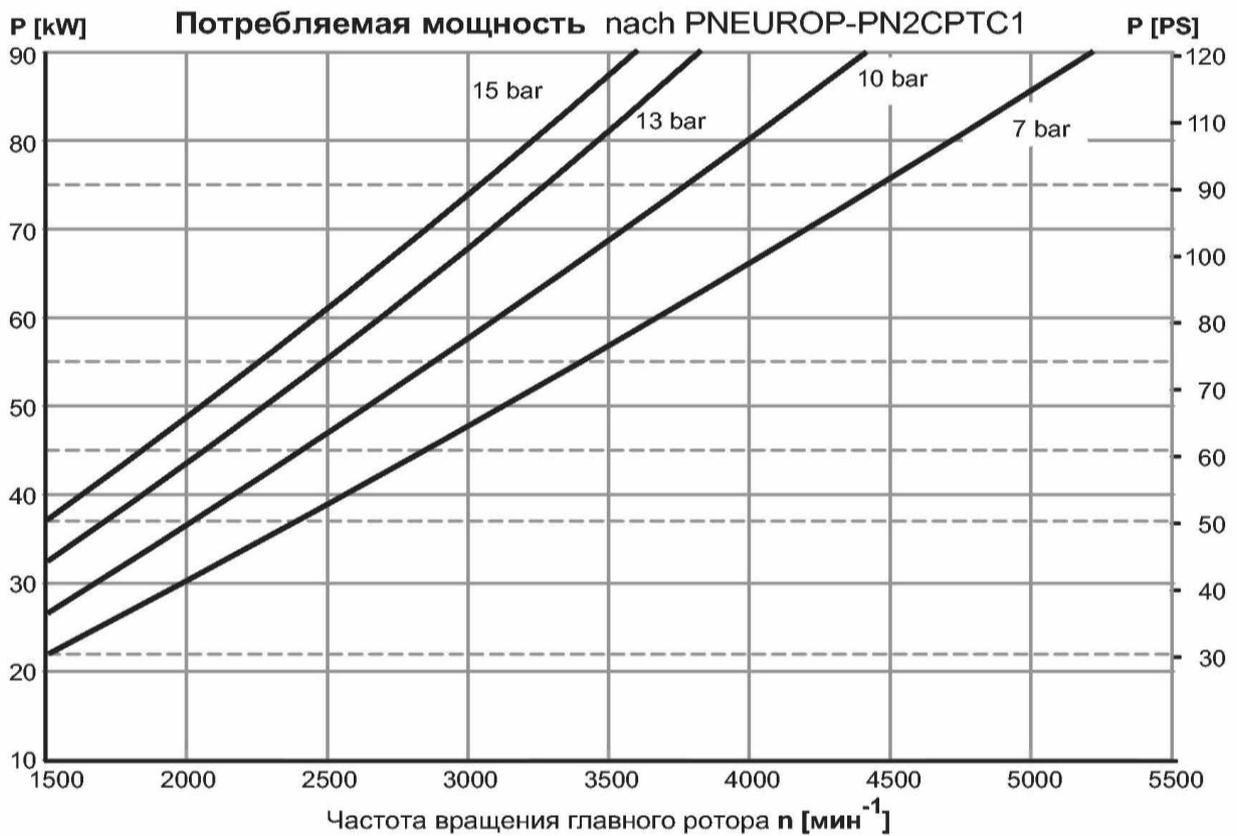
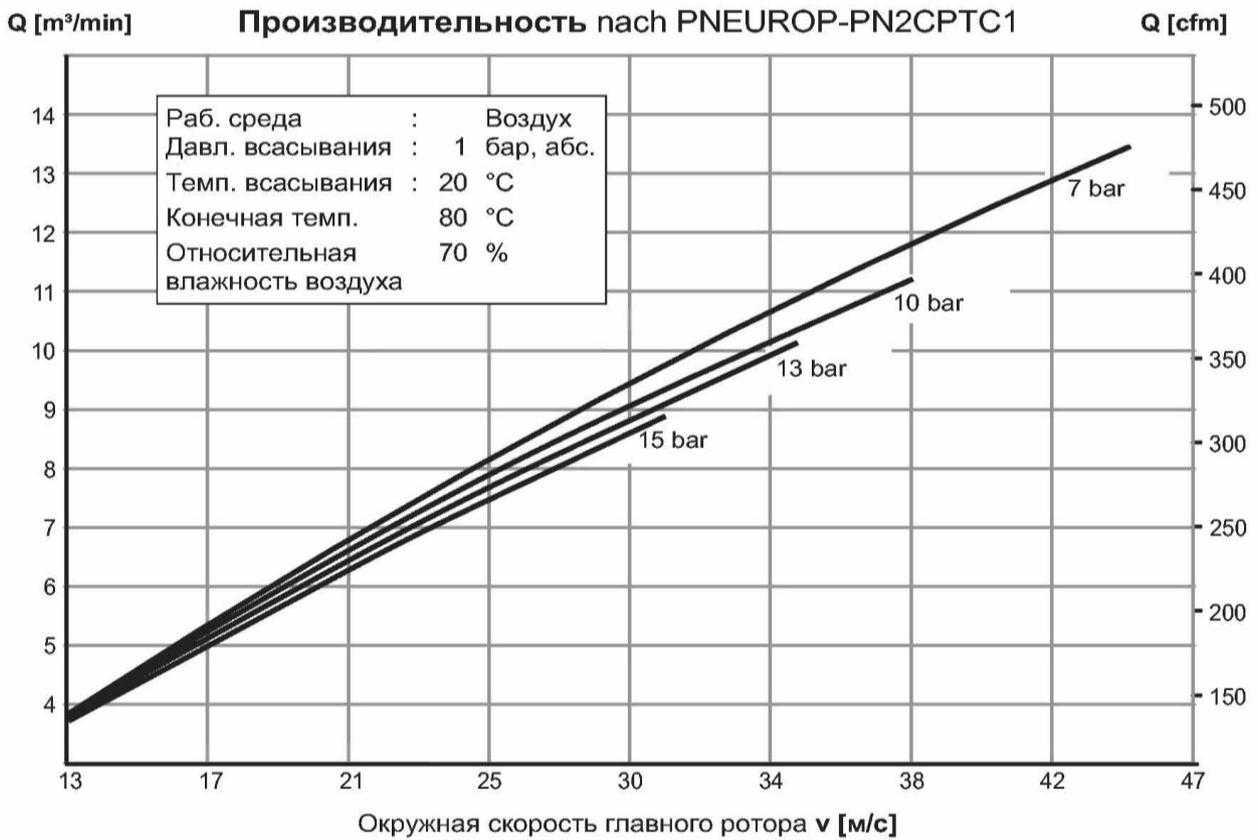


Рис. 2. Рабочие характеристики винтового компактного модуля НК-200

Для выполнения предъявленных требований компрессорный модуль был оборудован системой предпускового подогрева масляного фильтра, масла в сепараторе грубой очистки, сепаратора тонкой очистки

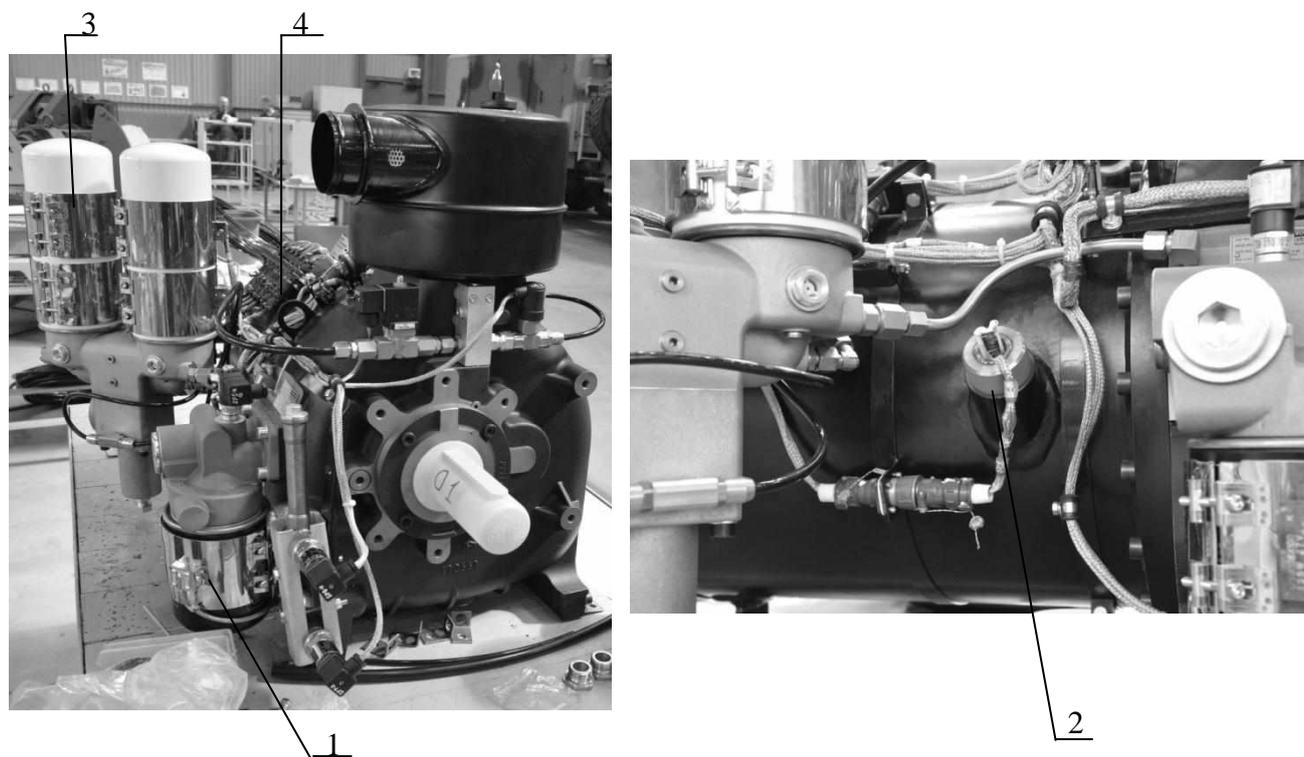


Рис. 3. Модуль компрессорный с системой предпускового подогрева:

1 - электронагреватель масляного фильтра; 2 - электронагреватель масла в сепараторе грубой очистки; 3 - электронагреватели сепаратора тонкой очистки; 4 - электрооборудование

Энергопотребление системы предпускового подогрева составило 1,2кВт. Вместо штатного масла Mobil Rarus 425 было применено авиационное масло ИПМ-10 отечественного производства с температурой застывания не выше -50°C , используемого также в других агрегатах транспортной установки.

Особенность данного компрессорного модуля заключается в том, что он должен эффективно работать как при низких (до -40°C), так и при повышенных (до $+50^{\circ}\text{C}$) температурах окружающей среды.

Для подтверждения этого проводились контрольные испытания в камере холода и проверка работы в тепловой камере.

Исследования в камере холода производились в составе транспортной установки после выдержки при температуре -40°C в течение двух суток. Отказов при запуске и работе с полной производительностью выявлено не было.

Испытания при повышенных температурах проводились в тепловой камере.

Показатели работы компрессорного модуля в тепловой камере таковы, что масло Mobil Rarus 425 достигает температуры 105°C при температуре в тепловой камере $+50^{\circ}\text{C}$, масло ИПМ-10 достигает такой же температуры при температуре в камере $+60^{\circ}\text{C}$, что свидетельствует о том числе о снижении трения в узлах компрессорного модуля и возможности работы при более высокой температуре окружающей среды.

Для подтверждения ресурса компрессорный модуль испытывался на масле ИПМ-10 в течение 3000 ч в нормальных условиях окружающей среды. Выходов из строя не зафиксировано.

В результате выполненных работ и проведенных исследований удалось создать компрессорную станцию, обеспечивающую сжатым воздухом пневмопотребителей в широком

температурном диапазоне окружающей среды. Дальнейшие испытания в составе транспортной установки позволят провести проверку работы компрессорного модуля при «холодных пусках» с целью снижения времени предпускового подогрева.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

V.V. Steshov¹, P.S. Zhadnov²

**ADAPTATION OF A COMPRESSOR TO OPERATION IN A TRANSPORT MOUNT
WITH REGARD FOR WIDE AMBIENT TEMPERATURE RANGE**

CRI Burevestnik, JSC, Nizhny Novgorod¹,
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev²

Adaptation of a compressor to operation in a transport mount was discussed with regard to considerably changing ambient temperatures.

Key words: pneumatics, NK-200 compressor, transport mount, adaptation to a broader temperature range.

УДК 623.418

В.В. Стешов

**СИСТЕМА ОСУШЕНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА ПНЕВМОТРАНСПОРТНОГО
АВТОМАТА ЗАРЯЖАНИЯ САО**

ОАО «ЦНИИ «Буревестник», Нижний Новгород

Рассмотрена проблема подготовки сжатого воздуха для использования в пневмотранспортном автомате заряжения. Экспериментально определены параметры функционирования осушителей воздуха, обеспечивающие полноценную работу пневмопотребителей автомата заряжения, на основании чего определен количественный элементный состав системы осушения воздуха.

Ключевые слова: артиллерия, пневмотранспортный автомат заряжения, энергоснабжение, пневматика, осушение воздуха.

Для обеспечения безотказной работы автомата заряжения перспективного самоходного орудия (САО), полностью состоящего из пневмотранспортных трактов и пневмоприводов, необходимо осуществлять подготовку сжатого воздуха: обеспечивать удаление влаги и твердых частиц.

Сложность задачи по обеспечению качественного осушения воздуха заключается в том, что при небольшом объеме пространства САО, отведенного для размещения модуля осушения, необходимо произвести осушение большого количества воздуха. Так, при потребном расходе воздуха $8 \text{ м}^3/\text{мин}$ с давлением 15 атм система осушения промышленного типа требует для размещения объем пространства в три раза превышающий, выделенный для этих целей в САО.

Для осушения чаще всего применяются осушители воздуха рефрижераторного, мембранного и адсорбционного типов.

Для обеспечения температуры точки росы воздуха до $T_{\text{тр}} = -50^\circ\text{C}$ пригодны осушители только адсорбционного типа.

Для решения возникшей проблемы из всего многообразия были выбраны адсорбционные осушители воздуха автомобильного типа с пневмотаймером (рис. 1).



Рис. 1. Адсорбционный осушитель автомобильного типа

Каждый осушитель выполнен конструктивно в виде автономного модуля, способного эффективно работать в любых погодных условиях.

Для обеспечения продолжительной эффективной работы каждого осушителя в режиме работы САО, а именно, 5 мин – осушение (рабочий режим) и 15-20 мин – регенерационный цикл (восстановление работоспособности осушителя), повторяющиеся циклически, были экспериментально определены временные и пневматические параметры наполнения и регенерации (продувка адсорбента осушенным воздухом) (рис.1). Определена продолжительность эффективной работы осушителя без замены фильтр-патрона (рис.2).

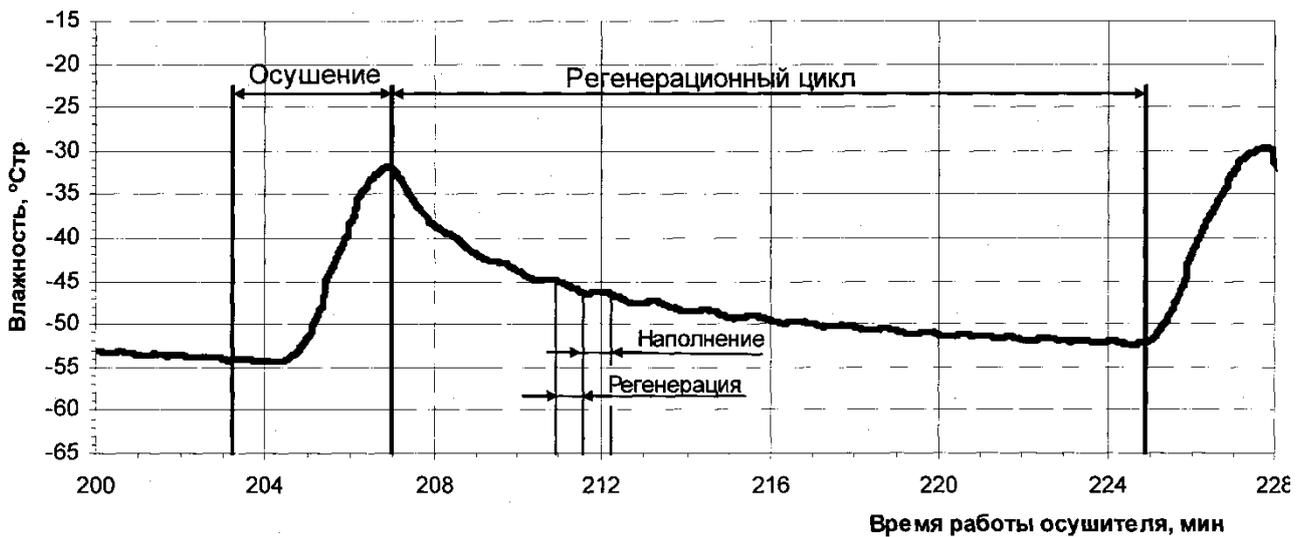


Рис. 2. Режим работы осушителя

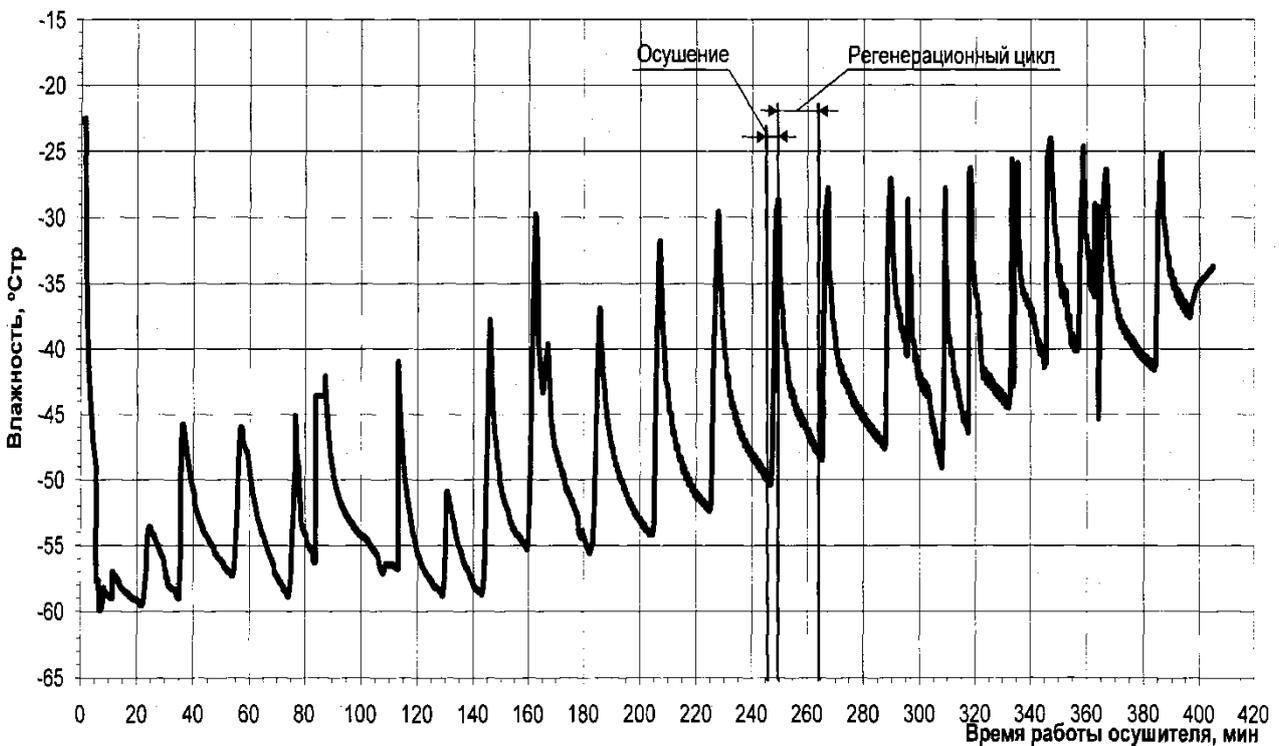


Рис. 3. Изменение влажности воздуха при осушении

Кроме этого, для увеличения продолжительности эффективной работы осушителя жидкая фаза влаги воздуха и твердые частицы предварительно отделялись в фильтре-влажнотделителе. Для обеспечения пропускной способности полученной системы осушения в

8 м³/мин с давлением 15 атм оказалось достаточным двух фильтров-влагоотделителей и четырех параллельно работающих осушителей.

Испытания проводились на специально разработанном стенде (рис. 3).

Измерялись следующие параметры воздуха (рис. 4):

- влажность и температура до и после осушения;
- давление на входе в систему осушения и на выходе из неё;
- расход и общее количество осушенного воздуха.

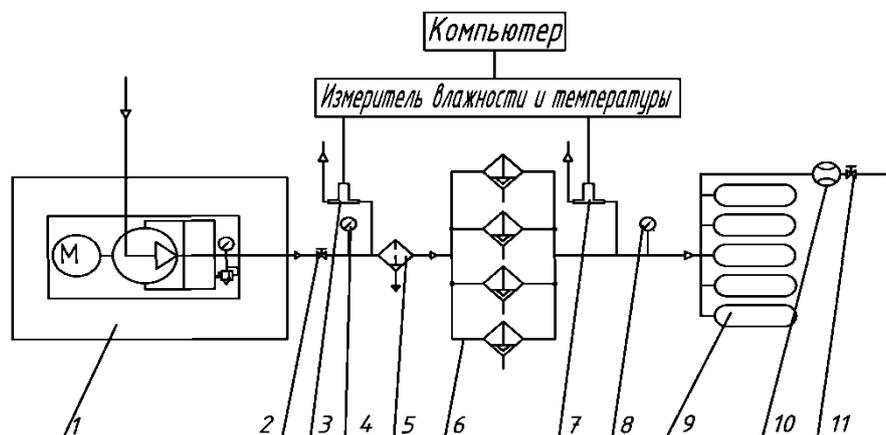


Рис.4. Схема измерения значений параметров воздуха в системе осушения:

1 - компрессорная станция; 2, 11 - кран шаровый; 3, 7 - датчик влажности и температуры;
4, 8 - манометр; 5 - фильтр-влагоотделитель; 6 - блок из четырех осушителей;
9 - блок ресиверов; 10 - расходомер

Алгоритм работы соответствовал эффективному режиму работы САО.

Результаты экспериментальных исследований показали, что система осушения в таком составе позволяет осушать до 600 м³ сжатого воздуха до влажности $T_{тр} = -25...-50^{\circ}\text{C}$ без смены фильтр-патронов осушителей, что достаточно для обеспечения надежной работы автомата зарядания, до замены при проведении планового обслуживания САО.

По результатам испытаний с учетом жестких габаритных ограничений САО был разработан модуль осушения воздуха на основе четырех осушителей, функционирующий по алгоритму отработанному при испытаниях.

Показатели работы модуля осушения воздуха в составе САО подтверждают полученные в результате испытаний в стендовых условиях.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

V.V. Steshov

COMPRESSED AIR DEHUMIDIFYING SYSTEMS FOR SPH PNEUMATIC-TRANSPORTING AUTOMATIC LOADER

CRI Burevestnik, JSC, Nizhny Novgorod

The problem of drying the compressed air used in the pneumatic-transporting automatic loader was discussed. The parameters of air driers operation, providing proper work of automatic loader pneumatic consumers were experimentally obtained, whereby the quantitative ultimate composition of the air drying system was defined.

Key words: artillery, pneumatic-transporting automatic loader, power supply, pneumatics, air drying.

УДК 623.4.018

А.Н. Бебенин¹, А.В. Зотов², С.В. Ширяев²**СИСТЕМА МЕР, НАПРАВЛЕННЫХ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ХОДЕ ИСПЫТАНИЙ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО «Центральный научно-исследовательский институт «БУРЕВЕСТНИК»²

Приведено обоснование необходимости рационального подхода к организации экспериментальной отработки сложных технических систем. Рассмотрены этапы проведения испытаний. Приведены факторы, требующие учёта при планировании и проведении различных испытаний, меры, выполнение которых требуется при подготовке и проведении испытаний. Сформулированы требования к персоналу, проводящему испытания и последующие обработку и анализ измерений.

Ключевые слова: сложные технические системы, испытания, измерения, измерительная аппаратура, обработка результатов испытаний, анализ результатов испытаний, требования к персоналу.

Создание принципиально новых образцов артиллерийского вооружения, удовлетворяющих высокими требованиями, предъявляемыми к ним как отечественным, так и иностранным заказчиком, требует использования не только принципиально новых конструкторских решений, но и применения новых материалов, технологий проектирования и отработки конструкций, технологий изготовления деталей и узлов в ходе серийного производства изделий. Жесткие требования к характеристикам перспективных артиллерийских систем делают необходимым реконструкцию производственной базы не только путем замены устаревшего оборудования современным, но и применением нового подхода к организации производства, обеспечивающего оптимальное использование результатов реконструкции, как в интересах артиллерийской отрасли, так и для использования при выпуске гражданской продукции, обеспечивающей окупаемость произведенных вложений.

По мере повышения требований к характеристикам артиллерийских систем и связанного с этим их технического усложнения роль испытаний в процессе изготовления объектов становится все более значительной. Известно, что при выпуске серийной продукции до 40% времени затрачивается на отладку и испытания. При этом большая стоимость испытаний и длительность их проведения становятся определяющими в общих затратах и сроках, необходимых для создания артиллерийских систем. Поэтому решение основной проблемы сокращения сроков создания и стоимости разработки артиллерийских систем во многом сводится к рациональной организации их экспериментальной отработки.

В любом испытании можно выделить следующие четыре этапа (фазы): *планирование испытаний, его проведение, обработка результатов испытаний, анализ полученных результатов и выработка решения.*

Качественное проведение измерений возможно только при рассмотрении работ по планированию как этапа опытно-конструкторской разработки. Программа испытаний должна создаваться параллельно с созданием объекта. Более того, в конструкции объекта, в его компоновке должны быть учтены требования, выполнение которых необходимо для проведения испытаний. При проектировании уникальных объектов параллельно должно производиться разработка и создание специального испытательного оборудования.

В общем случае при планировании проведения измерений должны быть выполнены следующие действия:

1. Чётко сформулирована цель проводимых измерений с учётом необходимой точности и надёжности проведения измерений.

2. Определен круг измеряемых параметров. Можно выделить два наиболее распространенных метода формирования перечня измеряемых параметров:

- путём определения критических значений показателей функциональных подсистем изделия на основе результатов математического моделирования динамики и прочности;
- экспертным методом на основе опыта проектирования и эксплуатации исследуемых систем.

3. Рассмотрены факторы, не зависящие от оборудования, но влияющие на выбор измерительной аппаратуры и технологии проведения измерений. К таким факторам относят:

- наличие подготовленного персонала;
- материальные средства, выделяемые на проведение измерений;
- время, отведённое на подготовку и проведение измерений;
- график работ, в рамках которых проводятся измерения;
- имеющиеся методы для анализа результатов измерений, их валидации и представления.

4. Осуществлён подбор измерительного оборудования с учётом таких факторов:

а) как измеряемые параметры (ускорение, скорость, перемещение, сила, деформация и т.д.). Характеристики измеряемых параметров (частотный и амплитудный диапазоны, фаза, направление, переходные характеристики, длительность и т.д.);

б) характеристики окружающей среды, в которой проходят испытания (температура, влажность, давление, акустический шум, электромагнитные поля, наличие коррозионных или абразивных элементов в окружающей среде, радиация, перегрузки и т.д.);

в) характеристики датчиковой аппаратуры:

- электрические характеристики (чувствительность, разрешение, поперечная чувствительность, линейность, динамический диапазон, частотный диапазон, эффекты от влияния окружающей среды);
- физические характеристики (масса, размер и т.д.);
- необходимость внешнего источника питания;
- необходимость заземления (изолированный датчик или с заземлением на корпус);
- наличие встроенного усилителя и другой электроники (для аналоговых датчиков);

г) тип и место крепления датчика (влияние крепления на характеристики датчика, влияние крепления на поведение испытуемого изделия, количество точек измерений, наличие мест для размещения датчиков, наличие стабилизированного прецизионного источника питания, простота установки, возможность неверной ориентации датчика при его установке);

д) метод передачи данных (коаксиальный кабель, витая пара, оптоволоконный кабель, телеметрия и т.д.);

е) характеристики аппаратуры связи (усилители, устройства согласования сигнала по уровню и форме, фильтры, анализаторы):

- электрические характеристики (входное и выходное сопротивление);
- помехоустойчивость;
- количество измерительных каналов;
- время проведения измерений;
- необходимость промежуточного хранения данных измерений;
- возможность проведения измерений в реальном времени.

ж) характеристики регистрирующей аппаратуры (электрические характеристики, продолжительность регистрации, мобильность и портативность, потребность в питании, корре-

ляция между записанными данными и физическим явлением, наличие резервирования для минимизации риска потери информации);

з) возможность проведения калибровки измерительной аппаратуры в полевых условиях;

и) анализ, валидация и представление данных (ручной или автоматический анализ, тип необходимого представления данных).

Результатом такого комплексного планирования должно стать создание руководящего документа, наиболее строго формализующего процесс подготовки и проведения измерений. Формализация процесса измерений способствует увеличению повторяемости измерений, уменьшению количества ошибок при подготовке к измерениям.

Качественная подготовка к проведению измерений, гарантирующая достоверные результаты измерений, может быть проведена только квалифицированным персоналом. Персонал, осуществляющий работу с измерительным оборудованием, должен обладать следующими знаниями и навыками:

- знаниями в области конструкции, принципов действия и основных характеристик используемых датчиков;
- навыками монтажа различной датчиковой аппаратуры;
- навыками прокладки кабельных трас, знаниями особенностей влияния используемых кабелей на результирующий сигнал;
- знаниями в области конструкции, принципов действия и основных характеристик используемой регистрирующей аппаратуры;
- знаниями имеющегося программного обеспечения управления процессом динамических измерений и видеорегистрации;

Проведение испытаний связано с реализацией во времени и пространстве программы испытаний. При этом вследствие ряда причин возможны «возмущения» программы. Поэтому испытатели должны быть готовыми к необходимости выработки и принятия обоснованного оперативного решения для коррекции программы или компенсации влияния возмущающих воздействий. Как правило, оптимальность этих мероприятий в значительной мере определяется наличием временных, людских и материальных резервов (испытываемые объекты, испытательное оборудование), которые должны быть предусмотрены на этапе планирования испытаний.

Проведение измерений динамических параметров сложных технических систем должно сопровождаться регистрацией сигналов, являющихся откликом сенсорной сети изделия на механическое или электрическое воздействие.

Целью проведения измерений, в общем случае, является получение исходных данных для осуществления анализа параметров работы испытываемого объекта.

Одной из актуальных задач современной измерительной техники остаются высокоточная, надёжная регистрация, обработка и анализ статико-динамических параметров машин и механизмов (вибраций, пульсаций давлений, динамических деформаций, акустических колебаний, зазоров, оборотов роторов и др.). Комплексное решение указанной задачи стало возможным благодаря применению современной цифровой электроники, появлению и развитию технологий виртуальных приборов, реализации оптимальных методов и адаптивных алгоритмов обработки сигналов, цифровой обработки сигналов, а также использования двумерного и трёхмерного пространства для представления исходных данных, результатов обработки и анализа.

Общепринятым стандартом современного средства регистрации быстропротекающих динамических параметров является цифровой, мобильный или стационарный анализатор-регистратор крейтового типа. Конструкция данных регистраторов включает в себя набор основных элементов: несущее шасси, комплект сменных модулей, устройство ввода-вывода

информации. Такая конструкция позволяет получать гибкую легко масштабируемую измерительную систему.

Одним из условий, обеспечивающих эффективное и полное использование собираемых данных, является наличие информации о начальных условиях, в которых проводились измерения. В связи с этим проведение работ необходимо сопровождать обязательным заполнением электронного журнала измерений, в котором должна быть отражена информация:

- позволяющая идентифицировать испытуемое изделие;
- о дате и времени, месте проведения испытаний;
- о состоянии окружающей среды;
- характеризующая измеряемые параметры, используемое измерительное и регистрирующее оборудование;
- об отклонениях от программы испытаний, нештатных срабатываниях испытуемого изделия, аномальных результатах измерений.

В целях обеспечения сохранности результатов измерений и возможности их последующего сведения в единую базу данных, характеризующих конкретное изделие, необходимо обеспечить чёткую структуру хранения и каталогизации результатов измерений.

Между этапами обработки и анализа результатов испытаний не всегда можно провести четкую границу. Порой разделение этих этапов является весьма условным, во многом определяется характером испытаний и сложностью испытываемого объекта. Общим для обоих этапов является то, что на них производится преобразование информации. На этапе проведения испытаний информация добывается, на двух последующих этапах она преобразуется (обрабатывается).

Вследствие наличия в составе современных артиллерийских комплексов управляющих и исполнительных элементов, основанных на различных принципах действия, собираемая информация имеет сложную структуру. Интерпретация информации такого типа требует привлечения специалистов, обладающих квалификацией в различных, часто не связанных, областях знаний. Вместе с тем конечной целью проведения измерений является понимание особенностей работы испытуемого изделия. Данный результат может быть получен при глубоком всестороннем анализе данных, собираемых в ходе испытаний.

Сигнал, фиксируемый аппаратурой регистрации, является результатом отклика измерительной системы (испытуемое изделие, крепление датчика, датчик, средства связи, регистрирующая аппаратура) на внешние возмущающие воздействие, включающее в себя воздействие окружающей среды и целевое контролируемое воздействие.

Таким образом, сотруднику, осуществляющему анализ результатов измерений, необходимо уметь выделить в неискажённом виде интересующий его целевой сигнал. Для этого он должен обладать знаниями как об измеряемом параметре, так и о возможных возмущениях, накладываемых составляющими измерительной системы. Таким образом, сотрудник, осуществляющий анализ измерительной информации, должен обладать знаниями:

- о устройстве исследуемого изделия, режимах его работы;
- конструкции, принципе действия и основных характеристиках используемых датчиков;
- технологии монтажа датчиковой аппаратуры и её влиянии на результаты измерений;
- конструкции, принципе действия и основных характеристиках используемой регистрирующей аппаратуры;
- внешних условиях, при которых проводились испытания;
- типе испытаний, при которых были получены данные измерений;
- характеристиках и виде целевого измерительного сигнала;
- основах цифровой обработки сигналов;
- программных комплексах обработки и анализа сигналов;

Выполнение комплекса мер и требований, приведённых в статье и направленных на планирование, подготовку, проведение измерений и анализ их результатов, позволяет рассчитывать на сокращение сроков проведения испытаний и получение комплексной достоверной информации о поведении исследуемой технической системы при любом типе испытаний.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A.N. Bebenin¹, A.V. Zotov², S.V. Shiryaev²

SYSTEM OF ACTIONS DIRECTED ON PROVIDING DETERMINATION OF FUNCTIONING PARAMETERS OF COMPLICATE TECHNICAL SYSTEMS DURING TESTS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
Joint Stock Company Central Research Institute "BUREVESTNIK"²

Justification of need of rational approach to the organization of experimental working off of difficult technical systems is given. Stages of carrying out tests are considered. The factors demanding the account when planning and carrying out various tests, the measures demanding implementation by preparation and carrying out tests are given. Requirements to the personnel which is carrying out tests and the subsequent processings and the analysis of measurements are formulated.

Key words: complicate technical systems, tests, measurements, measuring equipment, processing of results of tests, analysis of tests results, requirements to the personnel.

УДК 681.004.6

И.Е. Волкова, Ю.В. Соколова

**ОПТИМИЗАЦИЯ ГЛУБИНЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
ВХОДЯЩИХ В ЕЕ СОСТАВ ПОДСИСТЕМ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Решается задача обеспечения требуемого коэффициента надежности сложной системы, состоящей из подсистем. Рассматривается алгоритм обеспечения оптимального распределения точек контроля по подсистемам, используя весовые коэффициенты, полученные на основе метода экспертных оценок.

Ключевые слова: объект диагностирования, глубина диагностирования, дефект, коэффициенты весомости.

Эффективность систем диагностики сложных технических объектов, состоящих из большого количества подсистем, зависит от обеспечения контролепригодности входящих в состав подсистем. С учетом существующих ограничений (затраты, функциональные возможности) не удастся обеспечить значение оптимальной контролепригодности каждой подсистемы, вследствие чего встает задача распределения контролепригодности по подсистемам. В зависимости от приоритета каждой подсистемы при выполнении поставленных задач можно назначить весовой коэффициент, используя, например, метод экспертных оценок.

Пусть под моделью объекта диагностирования понимается сложная система S , состоящая из n подсистем $S_1, S_2 \dots S_n$, связанных друг с другом определенным образом.

Задача максимизации коэффициента глубины диагностирования всей системы на заданном числе точек контроля с учетом весовых коэффициентов подсистем имеет вид

$$K_{ГД}^S = \sum_{i=1}^n (K_{ГД}^i * \beta_i) \rightarrow \max ,$$

где $K_{ГД}^i$ - коэффициент глубины диагностирования i -й подсистемы, n - количество подсистем, β_i - весовой коэффициент i -й подсистемы.

Коэффициент глубины диагностирования кратности не более i определяется выражением

$$K_{z0}^i(z) = \frac{K_{z0}^i}{S^i},$$

где S^i – общее число возможных дефектов кратности не более i на множестве Z точек контроля.

Число однозначно выявляемых дефектов удобно определять по матрице проверок B_z , построенной на множестве Z точек контроля.

Очевидно, что в объекте число возможных дефектов кратности не более i определяется из выражения

$$S^i = \sum_{k=1}^i C_n^k,$$

где n – число одиночных дефектов, определяемое числом столбцов матрицы проверок B_z ; C_n^k – число сочетаний из n элементов по k .

Пусть в результате рассмотрения матрицы проверок определены соотношения вида

$$b^{\nu 1} \cup b^{\nu 2} \cup \dots \cup b^{\nu k} = b^{\mu 1} \cup b^{\mu 2} \cup b^{\mu 1} \cup \dots \cup b^{\mu l}, \quad (1)$$

где b^j – вектор-столбец матрицы B_z с номером j , и каждое из чисел $k, l, \dots r, t$ не превосходит i .

Каждое соотношение вида (1) определяет два эквивалентных дефекта кратности не более i . Построив все возможные соотношения этого вида, сможем объединить эквивалентные между собой дефекты в классы эквивалентности. Пусть получено S классов эквивалентности с числом элементов $n_j^{(i)} (j=1, \dots, S)$ в каждом классе. Тогда коэффициент глубины диагностирования кратности не более i определяется из выражения

$$F(z)^{(i)} = \frac{\sum_{k=1}^i C_n^k - \sum_{j=1}^S n_j^{(i)}}{\sum_{k=1}^i C_n^k}.$$

При этом если необходимо определить $K_{2\partial}^{(i)}$ при существовании однократных дефектов ($i=1$), то из (1) необходимо взять только те выражения, которые содержат в левой и правой частях равенства не более одного элемента, если $i=2$, то - не более двух элементов.

Таким образом, коэффициент глубины диагностирования кратности не более i определяется из выражения

$$F(z)^{(i)} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^S n_j^{(i)}}{\sum_{k=1}^i C_n^k}.$$

Для случая одиночных дефектов выражение (2) примет вид

$$F(z)^{(1)} = n - \sum_{j=1}^S n_j^{(1)},$$

где n – общее число одиночных дефектов в объекте диагностирования, определяемое числом столбцов матрицы проверок B_z ; $n_j^{(1)}$ – число неразличимых одиночных дефектов, определяемое числом совпадающих между собой столбцов матрицы проверок B_z .

Тогда коэффициент глубины диагностирования одиночного дефекта имеет вид

$$K_{2\partial}^{(1)}(Z) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^S n_j^{(1)}}{n}.$$

Следовательно,

$$F^{(1)}(Z) = F(Z), K_{2\partial}^{(1)} = K_{2\partial}(Z)$$

$$K_{2\partial}(Z) = \frac{F(Z)}{n}.$$

Очевидно, что $F(Z) = n - T(Z)$, где $T(Z) = \sum_{j=1}^S n_j^1$ - суммарное число совпадающих столбцов матрицы проверок B_z .

Тогда

$$K_{2\partial}(Z) = 1 - \frac{T(Z)}{n}. \quad (2)$$

Если полагать, что в объекте диагностирования возможны только одиночные дефекты, следовательно, коэффициент глубины диагностирования подсистем будет вычисляться в соответствии с выражением (2).

Значения коэффициентов весомости технических параметров показывают, во сколько раз меньше оценивается прирост уровня качества всего технического изделия по сравнению с приростом одного из технических параметров при неизменных остальных.

Коэффициенты весомости, как правило, на практике определяют экспертным методом

одним из следующих способов: предпочтения, ранга, попарного сопоставления, последовательных сопоставлений и др. При этом надо отметить, что с возрастанием числа экспертов, проводящих оценку, повышается достоверность результатов.

На практике используются приведенные коэффициенты весомости, для которых справедливо условие

$$\sum_l W_j = 1,$$

где l – число экспертов, и

$$W_j = \frac{K_j}{\sum_i K_j}.$$

Для более общих случаев целесообразно пользоваться формулой $W_j = 1 - (R_j - 1) / l$, где R_j - ранг j показателя или его порядковый номер в ранжированной таблице показателей. Значения приведенных коэффициентов весомости в данном случае объединяются по формуле

$$W_j = \frac{1 - (R_j - 1) / l}{\sum_l [1 - (R_j - 1) / l]}.$$

Полученные коэффициенты весомости будут отличаться от стоящих рядом на одну фиксированную величину, т. е. полученная зависимость между коэффициентами весомости будет носить линейный характер.

Если же получаемые коэффициенты весомости должны нелинейно отличаться друг от друга, необходимо использовать формулу

$$W_j = 1 - (R_j - 1) / R_j.$$

А для приведенных коэффициентов весомости

$$W_j = \frac{1 - (R_j - 1) / R_j}{\sum_l [1 - (R_j - 1) / R_j]}.$$

Значения, полученных по этой формуле коэффициентов весомости, будут подчиняться гиперболической зависимости.

Рассмотрим пример назначения дополнительных точек контроля для сложной системы в следующей постановке.

Пусть задано множество Y_0 ($|Y_0|=t$) точек контроля всей системы, обусловленных назначением и конструктивным исполнением объекта диагностирования. Для системы задано число l дополнительно организуемых точек контроля. Требуется дополнить множество Y_0 точек контроля множеством Z^* ($|Z^*|=t$) так, чтобы на множестве $Y_0 \cup Z^*$ достигалось максимальное значение коэффициента глубины диагностирования всей системы.

Формальная постановка задачи выглядит следующим образом:

$$K_{gd}(Y_0 \cup Z^*) = \max_Z K_{gd}(Y_0 \cup Z^*), |Z| = l.$$

Алгоритм назначения точек контроля

1. Выбирается место первой точки контроля из l возможных. Для этого вычисляется показатель γ_i для каждой i подсистемы:

$$\gamma_i = (K_{gd}(k+1))_i - (K_{gd}(k))_i * \beta_i,$$

где k – количество точек контроля, i – номер подсистемы, β_i – весовой коэффициент для i подсистемы.

2. Точка контроля l^i будет назначена в ту подсистему i , где значение γ_i будет максимально.

$$\gamma_i = \max(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n).$$

3. Далее повторяется п.1, но учитывается, что в i подсистему точка контроля уже назначена (т.е. $K_{гд}$ этой подсистемы увеличился).

Процедуру необходимо продолжать до того момента, пока в системе, не будет назначено l точек контроля.

Допустим, задано 5 дополнительно организуемых точек контроля (табл. 1).

Таблица 1

Распределение $K_{гд}$ при 5 точках контроля

Подсистемы	Вес. ко-эф.	Количество точек контроля					Кол-во т.контр.	$K_{гд}$
		0	1	2	3	4		
Подсистема S1	0,2	0,5	0,75	1	1	1	2	1
Подсистема S2	0,3	0,28	0,57	0,71	1	1	1	0,57
Подсистема S3	0,5	0,4	0,6	0,7	0,8	1	2	0,7

Тогда $K_{гд}$ всей системы на 5 назначенных точках контроля будет иметь значение

$$K_{гд} = K_{гд1} \cdot \beta_1 + K_{гд2} \cdot \beta_2 + K_{гд3} \cdot \beta_3$$

$$K_{гд} = 1 \cdot 0,2 + 0,57 \cdot 0,3 + 0,7 \cdot 0,5 = 0,721.$$

Получено распределение заданного числа точек контроля по подсистемам, обеспечивающих максимальное значение $K_{гд}$ всей системы.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

I.E. Volkova, J.V. Sokolova

OPTIMIZATION OF DEPTH DIAGNOSIS OF THE COMPLEX SYSTEM, BASED ON WEIGHT COEFFICIENTS IN ITS SUBSYSTEMS

The problem of ensuring the required safety factor of a complex system consisting of subsystems. An algorithm for optimal distribution of control points in subsystems using weights derived from the method of expert estimations.

Key words: object diagnosing, depth diagnostics, defect, weighting factor.

УДК 620.17, 620.18

А.Н. Бебенин¹, В.И. Рудый², В.Н. Литовченко², Р.А. Воробьев²,
И.А. Янкитова², Т.Г. Карнавская²

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ТУГОПЛАВКИХ ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ВАКУУМНОГО МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО «Центральный научно-исследовательский институт «БУРЕВЕСТНИК»²

В результате проведения испытаний образцов с нанесенным защитным тугоплавким покрытием определены механические характеристики покрытия: микротвердость, модуль упругости, доля упругой работы вдавливания. Показано, что защитное покрытие способно воспринимать необходимый уровень растягивающих напряжение без разрушения адгезионных связей.

Ключевые слова: защитное покрытие, тантал, ионно-плазменное вакуумное магнетронное нанесение, растягивающее напряжение, предел текучести, адгезия, микротвердость, шероховатость.

Для обеспечения живучести на поверхность канала высоконагруженных артиллерийских орудий наносят тугоплавкое защитное покрытие. При дульных энергиях орудий более 20 МДж наиболее перспективным материалом для покрытий считаются сплавы на основе тантала, технология нанесения – ионно-плазменная вакуумная магнетронная.

В данной статье приводятся результаты испытаний образцов оружейной стали с нанесенным танталовым покрытием по технологии HIPIMS bipolar (магнетронной распыление импульсами высокой мощности с дуальной схемой работы магнетронов).

Использование этой технологии позволило создать необходимое по условиям функционирования ствольной трубы работоспособное «толстое» покрытие толщиной до 300 мкм. Анализ качества получаемого покрытия на соответствие требуемым эксплуатационным свойствам готового изделия на стенде контроля характеристик покрытия осуществлялся по следующему алгоритму:

1. Предварительная оценка толщины покрытия (δ_n) определяется магнитным толщиномером МТ-2007.
2. Шероховатость поверхности покрытия (R_a) на установке SurfTest SJ-310R.
3. Механические характеристики (микротвердость по Викерсу - HV, приведенный модуль упругости - E, доля упругой работы вдавливания - nIT) определяются на установке наноидентификации FISCHERSCOPE HM2000.
4. Оценка адгезии покрытия на плоских образцах при трехточечном изгибе на машине Inspekt 100 с выдачей на экран диаграммы «нагрузка – прогиб».

Контроль характеристик покрытия тантала проводится на цилиндрических образцах-свидетелях (рис. 1) диаметром 19 мм и высотой 5.5 мм. Образцы для трехточечного изгиба и их размеры представлены на рис. 2.

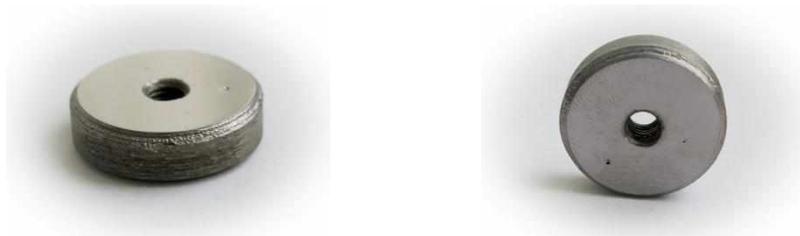


Рис. 1. Образцы - свидетели для проведения контроля

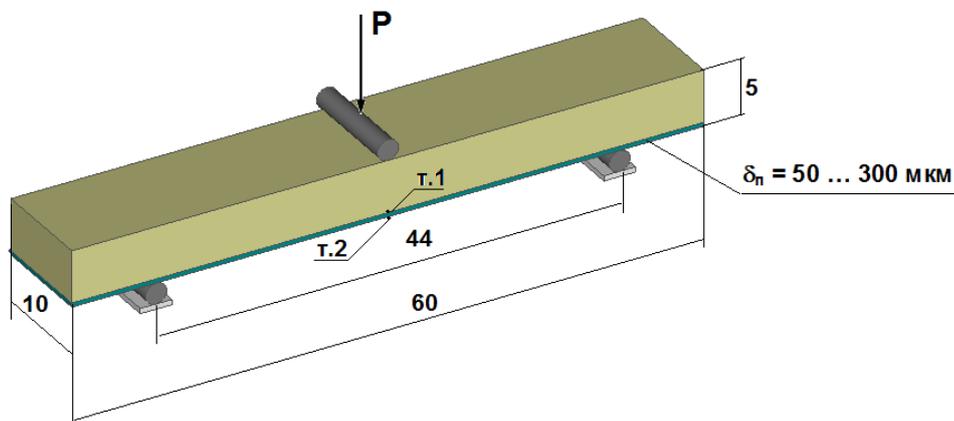


Рис. 2. Схема реализации трехточечного изгиба на плоских образцах

Механические характеристики танталового покрытия, полученные в результате испытаний по представленному алгоритму, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Механические свойства танталового покрытия

№ образца	δ_n (мкм)	HV (кгс/мм ²)	E (ГПа)	nIT (%)	Ra (мкм)	HF (балл)
1	50	839	219	33	0.612	HF1
2	100	838	189	35	0.623	HF1
3	150	852	185	36	0.957	HF1
4	200	799	187	35	1.235	HF1
5	300	967	192	39	1.243	HF1

Из табл. 1 видно, что нанесенное танталовое покрытие обладает твердостью 800...970 HV, что примерно в 1,5 раза выше твердости основного металла, и модулем упругости, близким с модулем стальной основы. Видно, что шероховатость поверхности увеличивается с увеличением толщины наносимого защитного слоя, а оценка адгезии по Роквелл-тесту соответствует высшему баллу HF1.

В стволах артиллерийских орудий окружные растягивающие напряжения от действия пороховых газов могут достигать предела текучести основного материала. В материалах с категорией О-120, О-130 условный предел текучести составляет: $\sigma_{02} = 1320 - 1430$ МПа. Важно, чтобы защитное покрытие, нанесенное на канал ствола, было способно воспринимать такой уровень растягивающих напряжений без разрушения когезионных и адгезионных связей. Наиболее просто такой уровень напряжений можно реализовать испытаниями на 3^х точечный изгиб (рис. 2).

Защитное покрытие толщиной $\delta_n = 50 - 300$ мкм располагается в растянутой зоне образца. При принятых размерах образцов с поперечным сечением 10×5 и длиной пролета 44

мм нагрузки (P) прикладываются ступенями: 4; 5.5; 8.2; 10 кН. На каждой ступени фиксируется напряжение в т. 1 на границе «покрытие – основа» или в т. 2 – на поверхности покрытия. Для конкретного испытания защитное покрытие нанесено на образцы из стали ОХНЗМФА, термообработанные в основном на 50 HRC (условный предел текучести $\sigma_{02} = 1450$ МПа, временное сопротивление $\sigma_b = 1600$ МПа).

На первой ступени нагружения $P_1 = 4$ кН в т. 1 растягивающее напряжение достигает величины ≈ 1000 МПа и находится в упругой зоне деформирования (рис. 3).

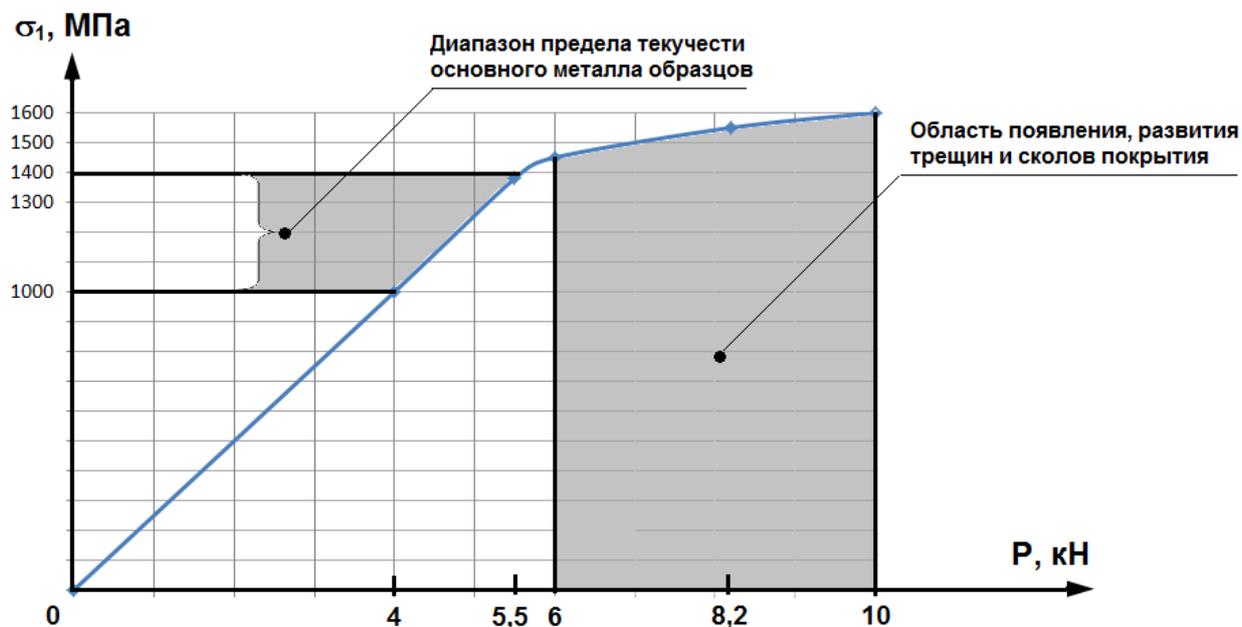


Рис. 3 Диаграмма « $\sigma_1 - P$ »

На второй ступени $P_2 = 5.5$ кН в точке 1 напряжение достигает величины $\approx 1300 - 1400$ МПа, то есть верхнего уровня предела текучести материала образцов. Для качественного покрытия на этой ступени не должно фиксироваться каких-либо повреждений покрытия. На третьей ступени при повышении нагрузки до $P_3 = 8.2$ кН в основном материале развивается полномасштабная текучесть, напряжение в точке 1 достигает уровня 1500 МПа, в покрытии появляются трещины и сколы.

На четвертой ступени при повышении нагрузки до $P_4 = 10$ кН идет долом образца при напряжениях, близких к временному сопротивлению материала. На каждой ступени после снятия нагрузки проводится осмотр и фотографирование состояния покрытия и основного металла с использованием микроскопа (рис. 4).



а – вид сверху



б – вид сбоку

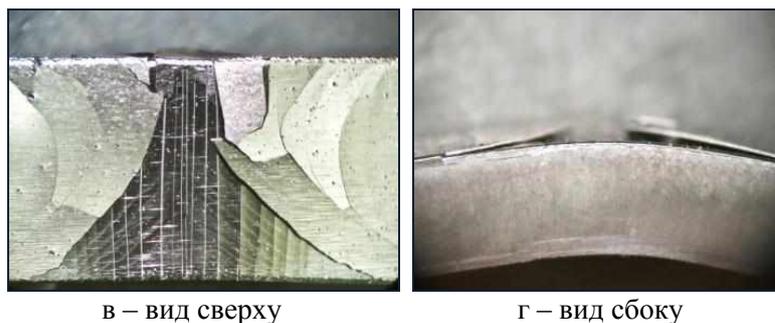


Рис. 4 Фотографии поверхности образца №4 с танталовым покрытием:

a, б – нагрузка на образец 5.5 кН; *в, г* – нагрузка на образец 8.2 кН

Как видно из рис. 3 и рис. 4 *a, б* при нагрузке 5,5 кН, которая обеспечивает уровень растягивающих напряжений не ниже предела текучести, покрытие не отслаивается и не разрушается. Это говорит об удовлетворительной адгезии покрытия по параметру сцепления при растяжении. При переходе границы нагрузки в полномасштабную текучесть (рис. 3 и рис. 4, *в, г*) покрытие растрескивается и отслаивается от стальной основы.

Таким образом, анализ механических характеристик исследуемого защитного покрытия показал, что использование магнетронной технологии HIPIMS bipolar позволяет получить танталовое покрытие толщиной до 300 мкм с необходимыми эксплуатационными свойствами.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

**A.N. Bebenin¹, V.I. Rudy², I.A. Yankitova², V. N. Litovchenko², R. A. Vorobyov²,
T.G. Karnavskaya²**

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF THE PROTECTIVE REFRACTORY COATING APPLIED BY THE METHOD OF ION-PLASMA VACUUM MAGNETRON SPUTTERING

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev¹,
Joint Stock Company Central Research Institute "BUREVESTNIK"²

In the test samples with a protective refractory covering is defined mechanical characteristics covering: microhardness, elastic modulus, the elastic portion of the work of indentation. It is shown that the protective covering is able to perceive the necessary level of tensile stress without failure of the adhesive bonds.

Key words: protective covering, tantalum, the ion-plasma vacuum magnetron sputtering, tensile stress, yield stress, adhesion, microhardness, roughness.

УДК 519.688

А. В. Швецов¹, А. А. Ложкин¹, И. А. Юхновский¹, Р. Р. Хайрулин¹, В. В. Бенсон¹,
А. Н. Бебенин¹, И. Е. Волкова²

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЦЕЛИ ПО ДАННЫМ ТЕЛЕАВТОМАТА СОПРОВОЖДЕНИЯ

ОАО «ЦНИИ Буревестник»¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева²

Рассмотрен вопрос о прогнозировании движения цели по данным, полученным с телеавтомата сопровождения. Алгоритм на основе метода наименьших квадратов позволяет предсказывать поведение целей, время полета снаряда до которых не превышает нескольких секунд, а также удаленных, но слабо маневрирующих целей.

Ключевые слова: зенитная артиллерия, прогнозирование, метод наименьших квадратов.

Достоверное прогнозирование движения цели представляет значительный интерес при разработке систем управления огнем зенитной артиллерии. Ошибки прогнозирования являются одними из основных и непосредственно влияют на точность стрельбы и, следовательно, эффективность систем.

Задача прогнозирования движения цели сводится к определению закона движения цели по данным наблюдения за ней в течение некоторого интервала времени и предсказания ее положения в пространстве спустя определенный промежуток времени. Последний определяется временем полета снаряда до точки встречи с целью.

Стоит отметить, что большинство целей зенитной артиллерии являются управляемыми и, следовательно, способны изменять закон своего движения в процессе полета и в том числе за время полета снаряда до цели. Поскольку, тем не менее, точка встречи рассчитывается до выстрела, то учесть эти изменения для неуправляемых снарядов не представляется возможным. Поэтому при постановке задачи мы будем исходить из того, что за прогнозируемое время закон движения цели не изменяется, а движение цели полностью определяется ее поведением в предшествующие моменты времени (интервал наблюдения).

Такое предположение, по крайней мере, должно быть справедливо для прогноза на небольшие промежутки времени вперед (порядка нескольких секунд) и для достаточно слабо маневрирующих целей. Последнее обстоятельство связано еще и с тем, что воздушные цели, движущиеся на больших скоростях, достаточно инерционны – их маневрирование ограничено максимально допустимыми перегрузками.

Для задач зенитной артиллерии удобно работать в системе координат местного горизонта, поскольку наблюдения за целью происходят именно в ней, а не в системе криволинейных (географических) координат. Задача об определении установок стрельбы (θ , ψ , t) по движущимся целям (рис.1) может быть сведена к решению системы уравнений:

$$\begin{cases} x(\theta, \psi, t) - x_c(t) = 0 \\ y(\theta, \psi, t) - y_c(t) = 0, \\ z(\theta, \psi, t) - z_c(t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где x , y , z – координаты центра масс снаряда в полете; x_c , y_c , z_c – координаты цели. Здесь используется стартовая система координат $Oxyz$, ось Oy которой направлена по нормали к поверхности земного эллипсоида в точке расположения орудия и, соответственно, плоскость Oxz является плоскостью местного горизонта. Система уравнений (1) должна быть решена относительно неизвестных установок стрельбы (θ , ψ , t) с заданной точностью, где θ – угол

между вектором начальной скорости снаряда v и плоскостью горизонта, ψ – угол между проекцией скорости на плоскость углов стрельбы, t – время полета снаряда до цели. Зависимость координат центра масс снаряда $r(t) = (x(t), y(t), z(t))$ при заданных значениях углов наведения орудия (θ, ψ) является решением системы уравнений движения твердого тела в пространстве [1, 2], в которых учтены аэродинамические силы и моменты, действующие на снаряд в полете, сила тяжести и сила Кориолиса, связанная с суточным вращением Земли.

Данные о положении цели в момент времени t_i представлены двумя углами θ_{ci} и ψ_{ci} , которые приходят с телеавтомата сопровождения цели, и расстоянием до цели r_{ci} , измеряемом лазерным дальномером. В реальности эти приборы всегда обладают некоторой погрешностью измерений, поэтому если положить, что \tilde{r}_{ci} , $\tilde{\theta}_{ci}$ и $\tilde{\psi}_{ci}$ – истинные значения в момент времени t_i , то

$$\begin{aligned} \Delta r_{ci} &= r_{ci} - \tilde{r}_{ci}, \\ \Delta \theta_{ci} &= \theta_{ci} - \tilde{\theta}_{ci}, \\ \Delta \psi_{ci} &= \psi_{ci} - \tilde{\psi}_{ci}, \end{aligned} \tag{2}$$

- соответствующие ошибки измерений. А радиус-вектор цели в системе координат местного горизонта, измеряемый в момент времени t_i , имеет следующие компоненты:

$$\begin{aligned} x_{ci} &= r_{ci} \cos \theta_{ci} \cos \psi_{ci}, \\ y_{ci} &= r_{ci} \sin \theta_{ci}, \\ z_{ci} &= -r_{ci} \cos \theta_{ci} \sin \psi_{ci}. \end{aligned} \tag{3}$$

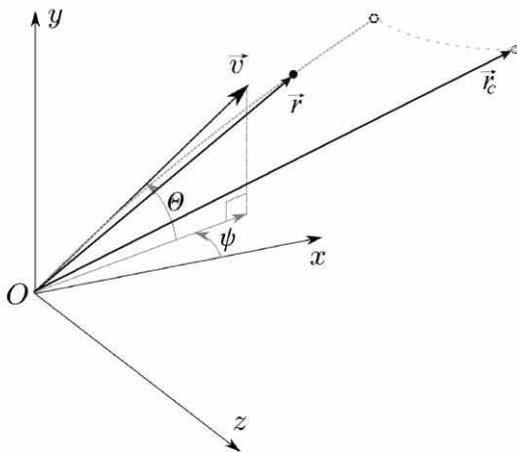


Рис. 1. Система координат местного горизонта

На рис. 1 начало координат O совпадает с орудием. Радиус-вектор $r = (x, y, z)$ характеризует положение центра масс снаряда в пространстве, тогда как радиус-вектор $r_c = (x_c, y_c, z_c)$ – положение цели. Вектор v – вектор скорости центра масс снаряда в начальный момент времени.

В качестве исходных данных для прогнозирования положения цели используются координаты цели (x_{ci}, y_{ci}, z_{ci}) в последовательные N моменты времени (t_i) от t_0 до t_f . Закон движения цели аппроксимируется полиномиальной зависимостью

$$\vec{r}_c(t) = \vec{i}P_n(t) + \vec{j}Q_m(t) + \vec{k}G_k(t), \tag{4}$$

где $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – орты системы координат местного горизонта (рис.1). Как уже отмечалось, предполагается, что цель в течение достаточного для ее поражения промежутка времени после момента t_f движется по

тому же закону $r_c(t)$, что и в интервале времени от t_0 до t_f . Отметим, что порядки аппроксимирующих полиномов $P_n(t), Q_m(t), G_k(t)$ в общем случае не совпадают. Каждый из полиномов $P_n(t), Q_m(t), G_k(t)$ определяется соответственно $(n+1), (m+1)$ и $(k+1)$ коэффициентами

$$P_n(t) = \sum_{i=0}^n a_i t^i, \quad Q_m(t) = \sum_{i=0}^m b_i t^i, \quad G_k(t) = \sum_{i=0}^k c_i t^i. \tag{5}$$

Для прогнозирования положения цели в настоящей работе используется метод наименьших квадратов [3, 4, 6]. Последний основан на отыскании минимума функционала S :

$$S(a_0, \dots, a_n, b_0, \dots, b_m, c_0, \dots, c_k) = \sum_{i=1}^N (\bar{r}_c(t_i) - \bar{r}_{ci})^2 =$$

$$= \sum_{i=1}^N \left((P_n(t_i) - x_{ci})^2 + (Q_m(t_i) - y_{ci})^2 + (G_k(t_i) - z_{ci})^2 \right) \quad (6)$$

Данный функционал минимален для набора коэффициентов $a_0, \dots, a_n, b_0, \dots, b_m, c_0, \dots, c_k$, являющихся решением системы $(n+m+k+3)$ уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a_i} = 0, & i = 0, \dots, n \\ \frac{\partial S}{\partial b_i} = 0, & i = 0, \dots, m, \\ \frac{\partial S}{\partial c_i} = 0, & i = 0, \dots, k, \end{cases} \quad (7)$$

которая приводится к системе линейных уравнений относительно неизвестных коэффициентов полиномов:

$$\sum_{l=0}^n a_l \left(\sum_{i=1}^N t_i^{l+j} \right) = \sum_{i=1}^N x_{ci} t_i^j, \quad j = 0, \dots, n, \quad (8a)$$

$$\sum_{l=0}^m b_l \left(\sum_{i=1}^N t_i^{l+j} \right) = \sum_{i=1}^N y_{ci} t_i^j, \quad j = 0, \dots, m, \quad (8б)$$

$$\sum_{l=0}^k c_l \left(\sum_{i=1}^N t_i^{l+j} \right) = \sum_{i=1}^N z_{ci} t_i^j, \quad j = 0, \dots, k. \quad (8в)$$

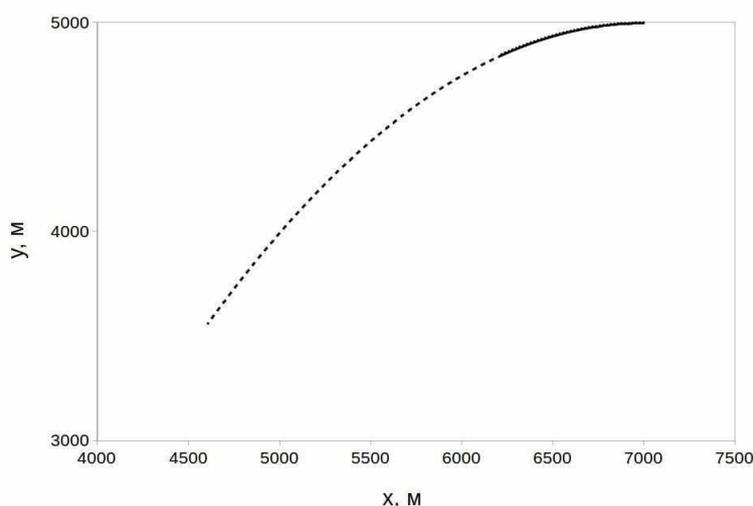


Рис. 2. Траектория цели в период наблюдения $[t_0, t_f]$ (сплошная линия) и прогнозируемая траектория цели (пунктирная линия)

Каждая из систем уравнений (8а), (8б), (8в) может быть разрешена независимо. Поскольку число определяемых коэффициентов полиномов и, соответственно, число уравнений (8а)-(8в) обычно невелико, то для решения системы уравнений используется метод Гаусса [5]. Так как координаты цели определены неточно (2), то рассчитанные в (8а)-(8в) коэффициенты a_l, b_l, c_l характеризуются определенными ошибками относительно истинных значений.

По этой причине очевидно, что необходимо ограничиваться полиномами небольшой степени, так как члены высокого порядка at^l ($l \gg 1$) быстро возрастают с ростом t и соответственно увеличивают ошибку прогнозирования положения цели в пространстве. Разумеется жестко задавать порядки аппроксимирующих полиномов $P_n(t)$, $Q_m(t)$, $G_k(t)$ не имеет смысла, поскольку заранее неизвестно по какому закону будет двигаться цель. С этой целью оптимальные для аппроксимации порядки полиномов должны быть определены расчетным путем по накопленным в результате наблюдения за целью данным - (x_{ci}, y_{ci}, z_{ci}) , $i = 1, \dots, N$.

В настоящей работе используются полиномы наименьших степеней, для которых выполняется условие:

$$|P_n(t_i) - x_{ci}| < \varepsilon, \quad |Q_m(t_i) - y_{ci}| < \varepsilon, \quad |G_k(t_i) - z_{ci}| < \varepsilon, \quad \forall t_i \in [t_0, t_f], \quad (9)$$

Порядки аппроксимирующих полиномов определяются путем последовательного решения систем уравнений (8а), (8в) и проверки условия (9).

На рис. 2 представлен результат прогнозирования движения цели. Наблюдение за целью происходит в течении 4 с. (сплошная линия на рис.2). Истинные координаты цели изменяются по закону $\tilde{x}_c = -7000 + 200 \cdot t$, $\tilde{y}_c = 5000 - 10 \cdot t^2$, $\tilde{z}_c = 0$. Для расчетов использовались зашумленные данные $x_{ci} = \tilde{x}_{ci} + \Delta x_{ci}$, $y_{ci} = \tilde{y}_{ci} + \Delta y_{ci}$, $z_{ci} = \tilde{z}_{ci} + \Delta z_{ci}$, где Δx_{ci} , Δy_{ci} , Δz_{ci} - случайные ошибки измерения координат с равномерным распределением в интервале $(-\varepsilon/2, \varepsilon/2)$. Прогноз осуществляется на промежуток времени 8 с. вперед (пунктирная линия на рис.2). Значения ε выбирались в интервале от 1 до 10 м. Ошибки определения координат цели относительно истинных составили значения меньше ε для координат x_c и z_c и величину порядка 4ε для координаты y_c . Это можно считать хорошим результатом, с учетом того, что время прогноза превышало время наблюдения в два раза.

Следует отметить, что описанный в работе алгоритм может успешно применяться для прогнозирования движения слабо маневрирующих целей, находящихся на значительных дистанциях, а также целей, испытывающих значительные перегрузки, но время полета снаряда до которых не превышает 3-4 с. В дальнейшем для увеличения точности прогноза планируется применить фильтрацию Калмана [6].

Библиографический список

1. ГОСТ В 24288-80. – М., Госстандарт, 1980.
2. **McCoy, R. L.** Modern Exterior Ballistics / R. L. McCoy - Atglen, Schiffer Military History, 2012.
3. **Линник, Ю. В.** Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю. В. Линник. – М., 1962.
4. **Зайдель, А. Н.** Ошибки измерений физических величин / А. Н. Зайдель. – Л.: Наука, 1974.
5. **Бахвалов, Н.С.** Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – М.: Бинном. Лаборатория знаний, 2011.
6. **Фарина, А.** Цифровая обработка радиолокационной информации / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

**A. V. Shvetsov, A. A. Lozhkin, I. A. Juhnowski, R.R. Khairulin, V. V. Benson,
A. N. Bebenin, I. E. Volkova**

PREDICTION OF TARGET MOTION BY DATA OF AN OPTICAL TRACKING SYSTEM

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R. E. Alexeev,
Joint Stock Company Central Research Institute "BUREVESTNIK"

The forecasting algorithm of target motion is discussed for the case of data obtained by an optical tracking system. The algorithm based on the method of least squares allows to predict a target behavior if the time flight of a projectile to the target does not exceed a few seconds as well as for the case of slowly maneuvering remote targets.

Key words: flak, forecasting algorithm, least-squares method.

УДК 623.4.018

А.Н. Бебенин¹, А.В. Зотов², С.В. Ширяев²**ВЫЯВЛЕНИЕ СЛОЖНОИДЕНТИФИЦИРУЕМЫХ ОТКАЗОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ МЕХАТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО «Центральный научно-исследовательский институт «БУРЕВЕСТНИК»²

Обоснована необходимость проведения измерений физических параметров функционирования подсистем мехатронных комплексов в ходе отладочных испытаний. Предложена методика идентификации сложнодиагностируемых отказов подсистем мехатронных комплексов путём всестороннего анализа параметров функционирования подсистем совместно с данными бортовой информационно-управляющей сети.

Ключевые слова: мехатронные комплексы, стендовые испытания, идентификация отказов, циклограмма, параметры функционирования.

Вновь разрабатываемые образцы артиллерийского вооружения представляют собой сложные мехатронные системы, обладающие развитым комплексом бортового оборудования, разветвлённой сенсорной сетью, системой распределённых приводов и исполнительных механизмов, обеспечивающих полную автоматизацию процессов подготовки и ведения огня. Разработка и изготовление любой сложной технической системы сопровождаются большим числом различных испытаний, выполняемых на всех стадиях жизненного цикла изделия. Испытаниям подвергаются как отдельные части и компоненты изделия, так и функциональные подсистемы автономно и в составе изделия.

Стендовые испытания функциональных подсистем вновь разрабатываемых изделий сопровождаются большим числом случаев нештатного срабатывания исполнительных элементов. Анализ возможных причин отказов осложнялся тем, что перед испытанием в составе функциональной подсистемы все элементы подсистем должны успешно пройти автономные испытания.

Указанные или аналогичные явления могут приводить к возникновению ситуаций неоднозначности при выявлении, локализации и определении причин возникновения отказов при проведении комплексных испытаний мехатронных систем. Эти ситуации невозможно предусмотреть на этапе проектирования изделия вследствие ряда факторов:

- индивидуальных особенностей каждой выпускаемой системы, обусловленных погрешностями в изготовлении и сборке деталей и узлов изделия;
- отсутствием достаточно полной и подробной информации о процессах, протекающих в бортовой сети исследуемого изделия;
- потерей функциональных свойств датчиковым оборудованием, информационно-управляющими блоками вследствие воздействия динамических нагрузок высокой интенсивности.

В связи с этим предоставляется необходимым на этапах испытаний проводить измерения динамических параметров функционирования исполнительных механических элементов исследуемого объекта и их комплексный анализ совместно с информацией, поступающей от датчиков и блоков управления мехатронной системы, с целью выявления случаев нештатного срабатывания блоков управления и элементов сенсорной сети изделия.

Описываемый метод предполагает проведение сетевого контроля информационного обмена блоков управления в ходе испытаний. В рамках этого контроля производится выборочная запись истории сетевых сообщений в лог-файл. Сообщения отбираются из сетевого трафика в соответствии с «маской», сформированной на этапе проведения исследователь-

ских работ. «Маска» сформирована по принципу причинно-следственной связи, отражающей механическое воздействие, отклик датчиков сенсорной сети мехатронной системы на данное воздействие, реакцию блоков управления на сигналы сенсорной сети изделия.

Получаемый таким образом лог-файл должен быть во временной области синхронизирован с файлом результатов системы измерений динамических параметров функционирования исследуемой подсистемы. Минимальнодопустимая разница во временной области должна составлять не более 0.001с. Такая точность соответствует дискретности времени операционной системы Windows, используемой большей частью отладочной аппаратуры и устройствами управления цифровыми анализаторами-регистраторами. Таким образом, для синхронизации лог-файла и файла результатов измерений необходимо использовать синхронизацию возможную при объединении регистрирующей аппаратуры в локальную сеть "клиент-сервер", при этом сервером должен являться цифровой регистратор-анализатор.

Комплексный анализ параметров функционирования исследуемых подсистем направлен на составление физической циклограммы работы функциональных подсистем артиллерийских комплексов, которая отражала бы не только движение исполнительного элемента, но и все механические и электрические возмущения, воздействующие на подсистему. Ввиду сложной структуры собираемой информации и отсутствия достаточных экспериментальных данных для наработки статистических характеристик для каждого исследуемого в ходе испытаний параметра, определение аномальных результатов предполагается проводить аналитическим способом, путём сопоставления получаемых результатов с «эталонными» расчётными кривыми, полученными путём предварительного математического моделирования режимов работы функциональных подсистем изделия. На рис. 1 приведён пример определения характеристических значений исследуемого сигнала по результатам измерений ускорений.

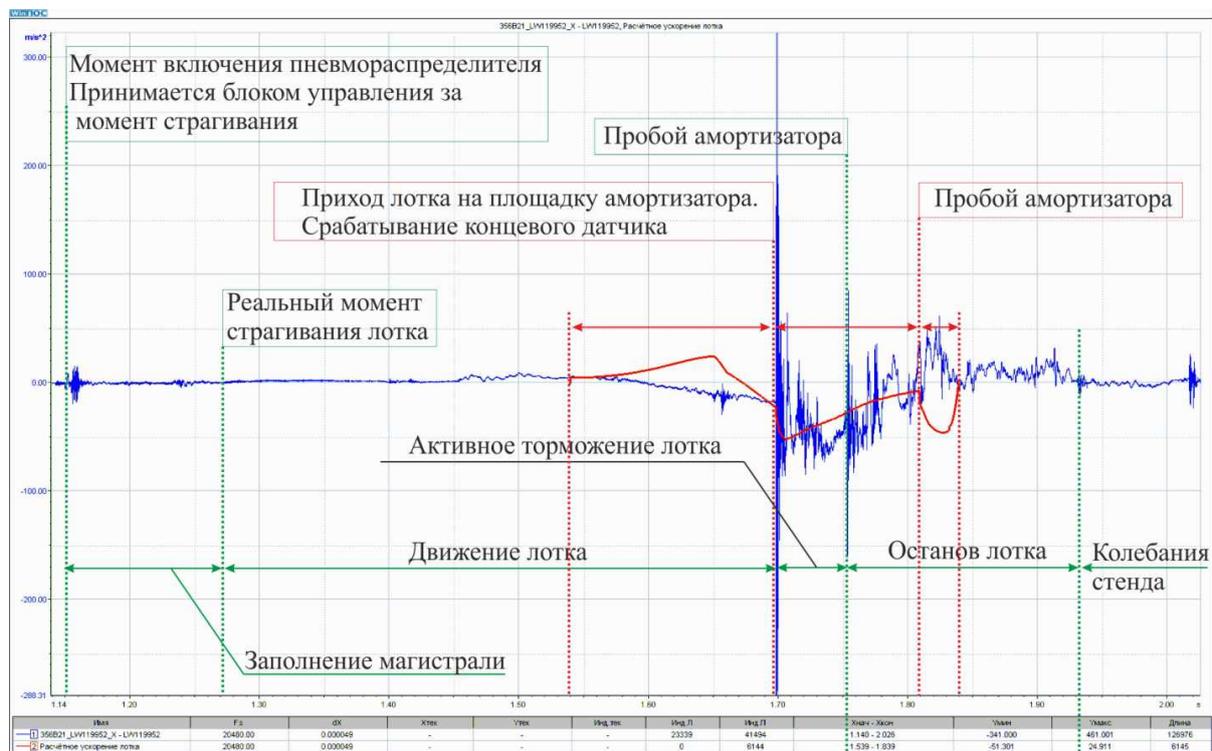


Рис. 1. Определение характеристических значений при перемещении исполнительного элемента функциональной подсистемы мехатронного комплекса

По мере накопления необходимых экспериментальных результатов должна формироваться база данных статистических параметров измеряемых сигналов. Сравнительный анализ

«эталонного» смоделированного сигнала с результатом реальных измерений позволяет в оперативном порядке определять необходимые характеристические параметры исследуемого сигнала.

Путём идентификации характеристических участков сигналов, по результатам сопоставления динамических измерений и результатов математического моделирования, строится циклограмма физической работы функциональной подсистемы изделия. На полученную таким образом циклограмму наносится синхронизированная с результатами физических измерений и развёрнутая во временной области история сообщений бортовой информационной сети, зарегистрированная в лог-файле.

Полученная комплексная циклограмма работы функциональной подсистемы позволяет оперативно силами сборочной бригады, без привлечения высококвалифицированного персонала расчётных и конструкторских подразделений, выявлять, локализовать и устранять погрешности в работе сенсорной сети, управляющих блоков и исполнительных элементов изделия.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A.N. Bebenin¹, A.V. Zotov², S.V. Shiryayev²

IDENTIFICATION OF DIFFICULT TO DIAGNOSTIC REFUSALS OF FUNCTIONAL SUBSYSTEMS MECHATRONIC COMPLEXES

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
Joint Stock Company Central Research Institute "BUREVESTNIK"²

The paper presents need of carrying out measurements of physical parameters of functioning of subsystems of the mechatronic complexes is proved during debugging tests. The identification technique of difficult to diagnostic refusals of subsystems the mechatronic complexes by the complex analysis of parameters of functioning of subsystems together with data of an onboard management information network is offered.

Key words: mechatronic complexes, bench tests, identification of refusals, sequence diagram, functioning parameters, analysis of tests results.

УДК 623.52

В.Е. Слуцкий¹, А.А. Зайцев²

УЧЕТ В БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО КОМПЛЕКСА ДЕФОРМАЦИЙ ВЕДУЩЕГО ПОЯСКА СНАРЯДА ПРИ ВЫСТРЕЛЕ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
Открытое акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт
«Буревестник»²

При решении задач внутренней баллистики неизбежно приходится осуществлять согласование решения с экспериментальными данными с помощью согласующих коэффициентов. Явления контакта ведущего пояска снаряда с каналом ствола зачастую при написании моделей не учитываются. В связи с этим требуется согласование для каждого состояния ствола в зависимости от его износа или нагрева, что не позволяет использовать модель в качестве бесстрельбовой методики баллистической подготовки орудий.

Предлагаемая методика позволяет осуществить согласование с экспериментом только один раз, подбирая параметры под поставленную партию зарядов и используя их при стрельбе этой партии из орудий, имеющих различный износ и нагрев ствола в процессе стрельбы.

Ключевые слова: Баллистическая подготовка, внутренняя баллистика, ведущий поясок снаряда.

В составе ошибок стрельбы, определяющих эффективность поражения целей артиллерийскими комплексами, ошибка баллистической подготовки является одной из важнейших. Одной из задач баллистической подготовки является определение поправок на отклонение начальной скорости снаряда из-за износа канала ствола и свойств партии для отдельного орудия. В настоящее время этот класс задач решается методами внутренней баллистики с использованием допущений, принятых ОСТ В3-3296-85 "Метод внутрибаллистического расчета". В статье предлагается усовершенствование метода путем использования при решении задачи внутренней баллистики:

- анализа внедрения ведущего пояска снаряда в канал ствола при досылке снаряда в ствол;
- определения величины давления, обеспечивающего обмятие ведущего пояска (давления форсирования) и длины участка, на котором осуществляется обмятие пояска, и, соответственно, сопротивления движению снаряда на этом участке;
- определения величины раскручивающего снаряд момента и возникающей силы сопротивления движению снаряда (силы трения).

Глубина внедрения снаряда при досылке и соответствующее изменение объема камеры осуществляются решением задачи определения точки контакта ведущего пояска снаряда с поверхностью изношенного ствола и деформации ведущего пояска при внедрении его в ствол. При решении задачи определения точки контакта используется представление измеренной площади канала ствола аппроксимирующим кусочно-кубическим сплайном, а задачи внедрения решением задачи Ляме при воздействии на кольцо внутреннего давления $p_{вн}$ (от корпуса снаряда) и внешнего давления $p_{нар}$ (от поверхности канала ствола).

Глубина внедрения определяется зависимостью

$$x_{дос}^{nl} = \sqrt{\frac{U_{дос}}{\pi \cdot R_{нар} \cdot (f_{врез} + \gamma) \cdot p_k^m}};$$

На поверхности контакта при досылке действует давление

$$p_k = p_k^m + p_k^{n3} - p_k^m + \frac{2 \cdot k^2 \cdot \gamma}{(1 - k^2) \cdot (1 - \nu^2) \cdot R_{\text{вн}}} \cdot E_t \cdot \gamma_{\text{досл}};$$

$$p_k^m = \frac{\sigma_m \cdot k^2 \cdot (1 - k^2)}{|1 + 3k^2 - \nu \cdot (1 - k^2)|};$$

$$\gamma = -0,5 \cdot \frac{dD}{dx} = -\frac{dS/dx}{2\sqrt{\pi} \cdot S(x^*)};$$

где $U_{\text{дос}}$ - энергия, получаемая снарядом при досылке; $S(x)$ - профиль площадей поперечных сечений канала по длине трубы по результатам измерений диаметров канала ствола по полям и нарезам.

Характеристики ведущего пояса:

$R_{\text{нар}} = D_{\text{вн}}^{\text{max}}/2$ - максимальный наружный радиус;

$R_{\text{вн}} = D_{\text{оп}}/2$ - внутренний радиус опорной поверхности;

σ_T - предел текучести материала;

E_y - модуль упругости материала;

E_t - модуль упрочнения на участке пластичности;

ν - коэффициент Пуассона;

$f_{\text{тр}}$ - коэффициент трения при контакте ведущего пояса с каналом ствола;

γ - угол конусности на поверхности контакта.

При решении задачи контакта и деформирования ведущего пояса снаряда используется схема взаимодействия ведущего пояса и канала ствола, представленная на рис. 1.

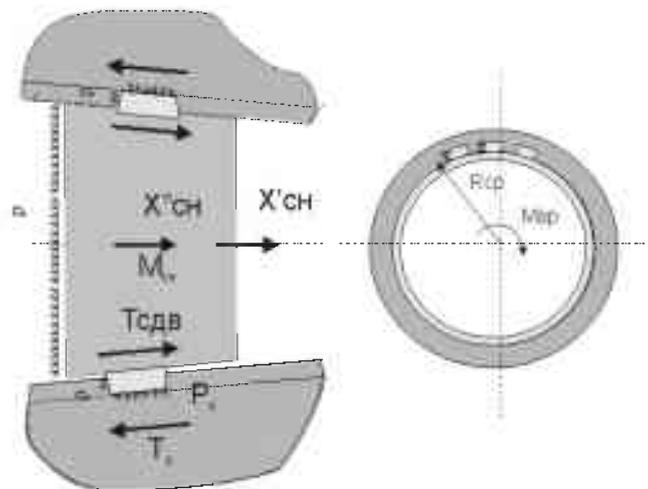


Рис. 1. Схема взаимодействия ведущего пояса и канала ствола

Снаряд движется под действием баллистического давления p с ускорением \ddot{X}_{cu} и под действием спирали нарезки вращается с ускорением $\ddot{\alpha}$.

На ведущий пояс действуют:

- сдвигающая сила со стороны корпуса снаряда $T_{\text{сдв}} = p \cdot S_{\text{вн}} - m_{cu} \cdot \ddot{X}_{cu}$;

- вращающий момент $M_{\text{оп}} = J_{cu} \cdot \ddot{\alpha} = J_{cu} \left(\ddot{X}_{cu} \cdot \frac{d\alpha}{dx} + \dot{X}_{cu}^2 \cdot \frac{d^2\alpha}{dx^2} \right)$;

- контактное давление p_k между поверхностью канала ствола и ведущим пояском, определяемое по величине деформации пояса, стенок ствола и снаряда;

- контактное давление на гранях нарезов $p_{\text{нар}} = \frac{M_{\text{оп}}}{R_{\text{сп}} \cdot n \cdot b_{\text{вн}} \cdot h_{\text{вн}}}$;

- сила трения на контактных поверхностях $T_k = (f_{ep} + \gamma) \cdot \int_{S_k} p_k \cdot ds + ((f_{ep} + R_{cp}) \cdot \frac{d\alpha}{dx}) \cdot \frac{M_{ep}}{R_{cp}}$;
- баллистическое давление p на заднюю поверхность пояска;
- массовая сила $\rho_{en} \cdot \ddot{X}_{en}$, равномерно распределенная по объему пояска.

С целью упрощения решения примем, что взаимодействие баллистического давления и массовых сил эквивалентно обжатию ведущего пояска в осевом направлении давлением

$$p_z = \frac{p \cdot S - m_{en} \cdot \ddot{X}_{en}}{S}.$$

При движении снаряда по стволу возникает контакт между его корпусом и поверхностью канала ствола. Контакт осуществляется по ведущему пояску снаряда, осуществляющему уплотнение пороховых газов в заснарядной полости, и дополнительной опорной поверхности. Для калиберных снарядов в качестве дополнительной опорной поверхности обычно выступает опорный поясок, располагающийся впереди ведущего пояска на расстоянии 1..1,5 калибра. Для бронебойных подкалиберных снарядов опорная поверхность обычно располагается сзади от ведущего пояска, но имеются конструкции, в которых дополнительных опорных поверхностей две, и они располагаются спереди и сзади от ведущего пояска.

Сопrotивление движению снаряду происходит за счет пластической деформации ведущего пояска при формировании поверхности уплотнения и трения, возникающего при контакте ведущего пояска и дополнительной опорной поверхности с поверхностью канала ствола. Для новых стволов при первых выстрелах процесс формирования ведущего пояска осуществляется на начальном участке движения снаряда (участке входа в калиберную часть ствола). Для стволов, имеющих износ и разогретых предшествующими выстрелами, канал ствола приобретает коническую форму, и формирование ведущего пояска происходит на значительном участке движения снаряда, нередко по всей длине ствола.

Для целей решения задач внутренней баллистики ограничимся рассмотрением контакта ведущего пояска снаряда с поверхностью канала ствола, трение на котором составляет основную часть сопротивления движению.

Как показали детальные расчеты, нагруженный контакт ведущего пояска снаряда с поверхностью канала ствола происходит на всем протяжении ствола, даже после завершения формирования ведущего пояска, вследствие упругого расправления стенок канала ствола и корпуса снаряда. Это упругое поджатие вполне компенсирует износ поверхности контакта ведущего пояска.

Для нарезных стволов в процессе формирования поверхности уплотнения, формируются нарезы, осуществляющие закрутку снаряда при ведении по стволу. Сравнивая формирование ведущего пояска снаряда в нарезных и гладких стволах, для целей оценки сопротивления движению снаряда можно принять, что деформирование пояска в нарезных и гладких стволах происходит эквивалентно. Это обусловлено тем, что формирование пояска происходит в условиях глубокой пластики, а объем металла заполняющего нарез не превышает 20% суммарного объема пояска, поэтому формирование профиля нареза не выделяется в отдельную задачу.

Анализ напряженно-деформированного состояния пояска производится при следующих допущениях:

- поля напряжений и деформаций ведущего пояска принимаются осесимметричными;

- диаметр контактной поверхности принимается равным: $D_k = \frac{2 \cdot \sqrt{S_k}}{\sqrt{\pi}}$;

- в процессе перемещения снаряда по стволу под действием контактного давления происходит упругая деформация стенок ствола и корпуса снаряда, оцениваемая по формулам Ляме плоских сечений толстостенных цилиндров;

- в процессе перемещения снаряда по стволу происходит износ ведущего пояска снаряда, отражающий вынос металла и увеличение диаметра контактирующей поверхности канала под действием баллистического давления за снарядом.

Определение давления контакта на участке формирования ведущего пояска осуществляется на основании решения уравнения $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$, согласования эквивалентных напряжений в теле пояска с эквивалентными деформациями, в соответствии с истинной диаграммой деформирования материала пояска.

Схемы действия напряжений и деформаций в теле ведущего пояска представлены на рис. 2.

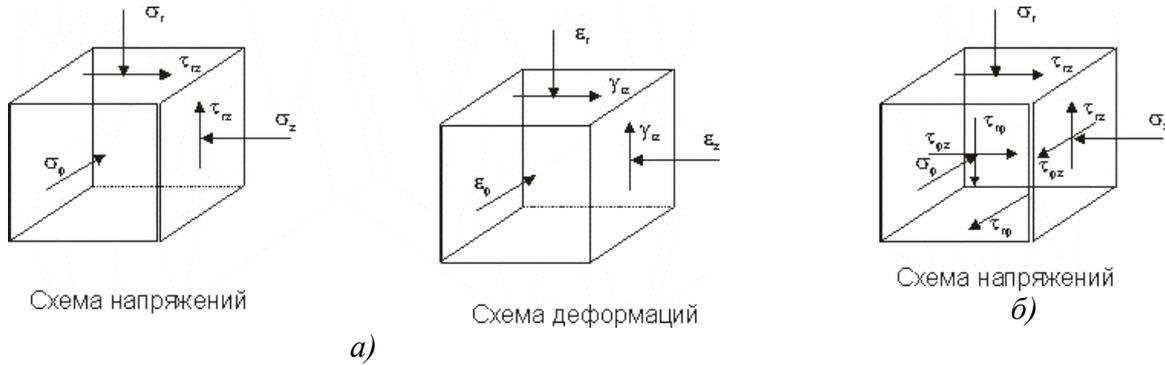


Рис. 2. Схемы действия напряжений и деформаций в теле ведущего пояска:
 а – на верхней поверхности контакта; б – у основания нареза

Для вычисления эквивалентных напряжений и деформаций используются следующий алгоритм.

Перемещения деформируемого объема вычисляются:

$$\text{вдоль радиуса } u = \frac{(D_{en} - D_k)}{(D_{en} - D_{on})} \cdot (r - \frac{D_{on}}{2}) - (\eta_{cmv} + \eta_{chn}) \cdot p_k - \Delta u \frac{D_k}{2};$$

вдоль образующей $v=0$;

вдоль направляющей w определяется перемещением выдавливаемого объема металла

$$[(S_{en} + S_{on} - S_k) - \pi \cdot D_k \cdot (\eta_{cmv} + \eta_{chn}) \cdot p_k - \pi \cdot D_k \cdot \Delta u] \cdot d\xi = S_{en} \cdot dw + w \cdot dS_{en};$$

Величина деформаций в зоне контакта на верхней поверхности пояска:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}; \varepsilon_\phi = \frac{2 \cdot u_k}{D_k}; \varepsilon_z = \frac{dw}{d\xi}; \gamma_{rz} = (\frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{\partial w}{\partial r});$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(\varepsilon_r - \varepsilon_\phi)^2 + (\varepsilon_r - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_\phi - \varepsilon_z)^2 + 3 \cdot \gamma_{rz}^2};$$

Напряжения, действующие в зоне контакта на верхней площадке пояска

$$\sigma_r = -p_k;$$

$$\sigma_z = -\frac{p \cdot S_k - m_{chn} \cdot \ddot{X}_{chn}}{S_k} = -p_z;$$

$$\sigma_\phi = -v \cdot (p_k + p_z);$$

$$\tau_{rz} = (\gamma + f_{ep}) \cdot p_k;$$

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_r - \sigma_\phi)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_\phi - \sigma_z)^2 + 6 \cdot \tau_{rz}^2};$$

После завершения формирования ведущего пояска устанавливается упругое равновесие между сжатым корпусом снаряда и распертыми стенками ствола, аналогичное прессовой

посадке. Соответствие между размерами внедряющихся тел и контактным давлением записывается следующим образом: $(D_{\text{вн}}^{\text{сфор}} - D_k - D_k \cdot \bar{\Delta}_u^i) = 2 \cdot (\eta_{\text{ств}}^i + \eta_{\text{сн}}) \cdot p_k$; $\eta_{\text{ств}} \cdot \eta_{\text{сн}}$ - податливость ствольной трубы и корпуса снаряда при действии контактного давления; Δ_u - радиальный износ ведущего пояска в процессе движения по стволу; $D_{\text{вн}}^{\text{сфор}}$ - диаметр сформированного пояска.

Параметры сопротивления движению снаряда по стволу определяются по зависимостям

$$p_0 = \begin{cases} p & \text{при } X_{\text{сн}} = X_{\text{сн}}^0 \text{ и } p < p_{\text{фн}} \\ p_{\text{фн}} & \text{при } X_{\text{сн}} \leq L_{\text{ств}} \\ 0 & \text{при } X_{\text{сн}} > L_{\text{ств}} \end{cases} - \text{давление форсирования и сопротивления движению по стволу};$$

жению по стволу;

$$p_{\text{фн}} = T_k / S = \frac{2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot (f_{\text{эп}} + \gamma)}{\sqrt{S}} \cdot \int_{\xi_1}^{\xi_2} p_k \cdot d\xi + (f_{\text{эп}} + R_{\text{сп}} \cdot \frac{d\alpha}{dx}) \cdot \frac{M_{\text{эп}}}{R_{\text{сп}} \cdot S}; - \text{давление внутри канала}$$

ла ствола, преодолевающее силу сопротивления движению снаряда по стволу.

$$P_{\text{фн}} = p_0 \cdot S_{\text{кан}} - \text{усилие сопротивления движению снаряда.}$$

В соответствии с предлагаемым алгоритмом были проведены контрольные расчеты для гладких и нарезных стволов танковой и полевой пушки.

Для неизношенного ствола была получена хорошая сходимость результатов по форме кривой давления, величине начальной скорости и максимальному давлению при близких коэффициентах согласования.

На рис. 3 приведена кривая контактного давления ведущего пояска на поверхность канала ствола при различном износе ствола.

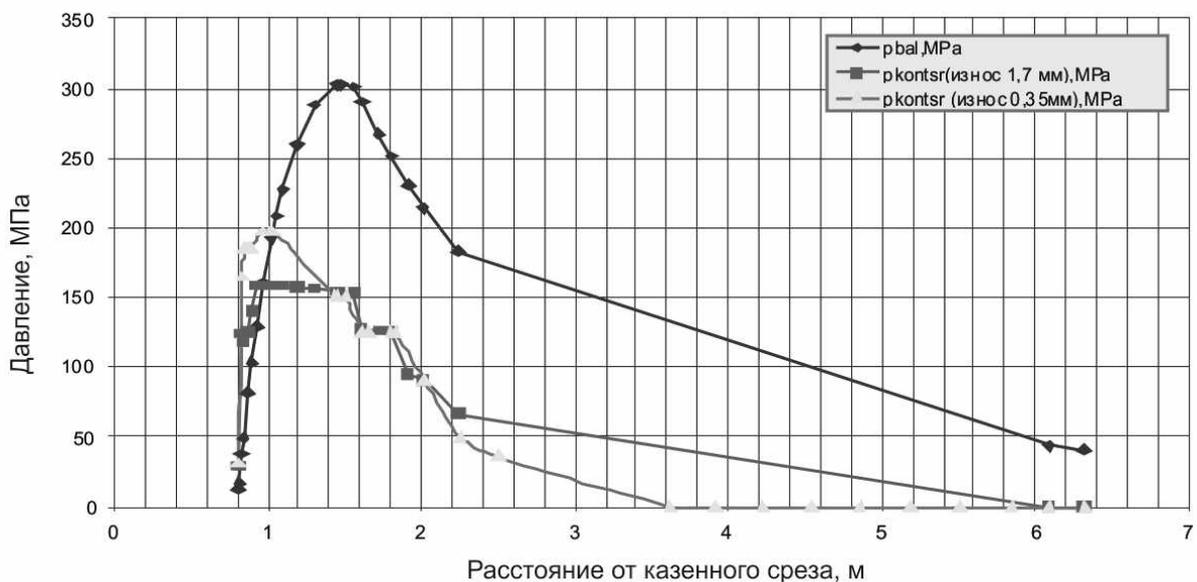


Рис. 3. Изменение контактного давления ведущего пояска в зависимости от износа трубы (изделие 2А46М, осколочно-фугасный снаряд)

Проведенные расчеты показали, что определяющим фактором потери начальной скорости в изношенном стволе является существенное удлинение участка формирования нарезов. В сильно изношенных стволах из-за конуса, вызванного износом, они переформируются практически на всем пути движения снаряда. Увеличение объема зарядной камеры, используемое в типовой методике расчета, дает только 20..30% от полной потери V0 при износе ствольной трубы.

В табл. 1, в качестве примера представлены данные расчетов изменения начальной скорости снаряда ЗБМ42 по представленной и типовой методикам, в сравнении с табличными данными.

Таблица 1

Данные сравнения проведенных по методике расчетов изменения начальной скорости снаряда ЗБМ42 в зависимости от износа ствола с расчетами по типовой методике для изделия 2А46М

Износ ствола, мм	0	0,4	1,0	1,67	2,8
Потеря $\Delta V_0, \%$ (расчет по предложенной методике)	0	0,1	0,8	1,73	3,19
Потеря $\Delta V_0, \%$ (расчет по типовой методике)	0	0,06	0,20	0,42	1,16
Потеря $\Delta V_0, \%$ табличная	0	0,4	0,8	1,34	2,74

Выводы

1. В изношенном стволе формирование ведущего пояска и, соответственно, повышенное сопротивление движению снаряда происходит на значительном участке движения снаряда по стволу, а для сильно изношенного ствола практически до дульного среза. Это сопротивление, в основном, и определяет потерю начальной скорости снарядом.

2. Предлагаемое усовершенствование методики внутриваллистического расчета позволяет выполнить учет в баллистической подготовке артиллерийского комплекса деформаций ведущего пояска снаряда при выстреле и обеспечить преэминентность данных по параметрам выстрела для всех труб с различным износом.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

V.E. Slutsky¹, A.A. Zaycev²

ACCOUNTING FOR DEFORMATIONS OF THE ROTATING BAND DURING FIRING IN THE BALLISTIC PREPARATION OF ARTILLERY SYSTEMS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
Joint Stock Company "Central Research Institute "Burevestnik"²

Solving the internal ballistics problems it is necessarily to perform a correlation of the computation result with experimental data by applying correlation coefficients. When the model is being written, the effects of driving band contact with the barrel bore are often neglected. Therefore the correlation is necessary for every barrel state depending on its ware rate and heat. That means the model cannot be used as a non-firing method of gun ballistic preparation.

The proposed procedure enables to perform the correlation with the experiment only once, matching the parameters to the delivered lot of charges and using them when firing this lot from the guns with different ware rate and heat value.

Key words: Ballistic preparation, internal ballistic, driving band.

УДК 623.52

В.Е. Слуцкий¹, А.А. Зайцев²**О МЕТОДИКЕ ПРОВЕДЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
АРТИЛЛЕРИЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ОБОРУДОВАНИЯ КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНОЙ МАШИНЫ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
Открытое акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт
«Буревестник»²

В настоящее время для выполнения баллистической подготовки артиллерийских комплексов требуется проведение большого количества стрельб. Это влечет за собой значительные материальные и временные затраты. В статье предложена методика проведения баллистической подготовки артиллерийских комплексов с использованием оборудования контрольно-проверочной машины, которая позволяет свести к минимуму количество стрельб. Контрольные расчеты по предлагаемой методике подтвердили хорошую сходимость результатов расчета начальной скорости снаряда при различном износе ствола с табличными значениями, полученными экспериментально.

Ключевые слова: Баллистическая подготовка, артиллерийский комплекс, контрольно-проверочная машина.

Появление в войсках контрольно-проверочных машин (КПМ), предназначенных для технического обслуживания, текущего ремонта, диагностики и настройки АК и оснащенных современными измерительными приборами и мощными вычислительными средствами, открывает еще один эффективный путь комплексного решения задачи баллистической подготовки для артиллерийских подразделений. В составе приборного комплекса КПМ имеются высокоточные электронно-оптические приборы, позволяющие измерять с погрешностью не более 0,01 мм диаметр канала ствола по его длине (приборы ПИНТ, ПИОС), начальную скорость снаряда с погрешностью не более 0,1% (ФЭБ, АБС), а также ЭВМ, которая с помощью специального программного обеспечения может решать широкий круг задач обеспечения боевой подготовки АК.

В методике предлагается решение следующих задач баллистической подготовки:

- 1) 1 определение поправок на отклонение начальной скорости снарядов из-за свойств и особенностей партии зарядов стрельбовым методом;
- 2) 2 определение поправок на отклонение начальной скорости снарядов из-за износа канала ствола и свойств партии для отдельного орудия стрельбовым методом;
- 3) 3 определение поправок на отклонение начальной скорости снаряда из-за износа канала ствола и свойств партии для отдельного орудия бесстрельбовым методом;
- 4) 4 определение поправок на отклонение начальной скорости снарядов из-за несоответствия температуры заряда табличной;
- 5) 5 определение поправок на отклонение начальной скорости снарядов из-за разогрева ствола орудия;
- 6) 6 определение поправки на суммарное отклонение начальной скорости снарядов для отдельного орудия;
- 7) 7 определение разнобоя основных орудий батарей относительно контрольного орудия дивизиона и орудий батареи относительно основного;
- 8) 8 разработка рекомендаций по комплектованию огневых подразделений с учетом износа стволов орудий;
- 9) 9 разработка рекомендаций по комплектованию огневых подразделений и орудий

боеприпасами в соответствии с поступающими партиями боеприпасов.

Первые две задачи решаются на основе точных измерений начальной скорости снаряда приборами КПП, третья, четвертая и пятая – решением задачи внутренней баллистики и нагрева (охлаждения) ствола при стрельбе, все остальные задачи решаются методами сортировки информации, находящейся в базе данных бортовой информационно-измерительной управляющей системы (БИУС) КПП, обслуживающей подразделение.

Подробнее рассмотрим особенности алгоритма и его реализации для класса расчетных задач 3, 4, 5.

Этот класс задач решается методами внутренней баллистики и нагрева (охлаждения ствола) с использованием допущений, принятых ОСТ ВЗ-3296-85 "Метод внутрибаллистического расчета" и ОСТ ВЗ-6016-85 "Метод расчета нагрева и охлаждения ствола". Методика усовершенствована за счет использования при решении задачи внутренней баллистики:

- анализа внедрения ведущего пояска снаряда в канал ствола при досылке снаряда в ствол;
- определения величины давления, обеспечивающего обмятие ведущего пояска (давления форсирования) и длины участка, на котором осуществляется обмятие пояска, и, соответственно, сопротивления движению снаряда на этом участке;
- определения величины раскручивающего снаряд момента и возникающей силы сопротивления движению снаряда (силы трения);
- использования при расчете результатов измерений с высокой точностью диаметра калиберной части ствола и участка камеры, примыкающего к калиберной части (~ 200 мм), в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- совместного решения в составе задачи внутренней баллистики задачи нагрева и охлаждения ствола орудия в ряде контрольных сечений;
- учета изменения температуры на поверхности канала и диаметра канала ствола вследствие разогрева его стенок.

Система дифференциальных уравнений, описывающих задачу:

$$[K_{\phi} \cdot (q + J_{\text{сн}} \cdot (\frac{d\alpha}{dx})^2) + \frac{\omega_z - g}{3}] \cdot \ddot{X}_{\text{сн}} - p \cdot S^*(x) = -p_0 \cdot S^*(x);$$

$$W \cdot \dot{p} - R_{\text{пр}} \cdot \omega_z \cdot \dot{T} + p \cdot \dot{W} - R_{\text{пр}} \cdot T \cdot \dot{\omega}_z = 0;$$

$$(R_{\text{пр}} / \theta_{\text{пр}}) \cdot \omega_z \cdot \dot{T} + p \cdot \dot{W} + (R_{\text{пр}} / \theta_{\text{пр}}) \cdot T \cdot \dot{\omega}_z + \dot{Q}_{\text{тп}} - \sum_{i=1}^{n_k} (f_i / \theta_i) \cdot \omega_i \cdot \dot{\psi}_i = - \sum_{i=1}^{n_{\Gamma}} G_{\text{тк}};$$

$$\dot{\omega}_z - \sum_{i=1}^{n_k} \omega_i \cdot \dot{\psi}_i + \dot{g} = 0;$$

$$\dot{g} = \sum_{i=1}^{n_2} G_{\text{к}};$$

$$\dot{Q}_{\text{тп}} = \int_0^{X^*} 2 \cdot \alpha_{\text{мт}}(x) (T(x) - T_{\text{сн}}(x)) \cdot \sqrt{\pi S} \cdot dx;$$

$$\dot{W} - S^*(x) \cdot \dot{X}_{\text{сн}} + \sum_{i=1}^{n_k} (\alpha_i - 1 / \rho_i) \cdot \omega_i \cdot \dot{\psi}_i - \alpha_{\text{пр}} \dot{g} = 0;$$

$$\dot{\psi}_i - a_{zi} \dot{z}_i = 0; \dots i = 1 \dots n_k;$$

$$\dot{z}_i - p \cdot \Gamma_i / K_i = 0; \dots i = 1 \dots n_k;$$

$$\dot{T}_{\text{сн}}^j + \frac{1}{c \cdot \rho \cdot r_0} (\alpha_{\text{вр}} - \frac{\lambda}{\delta}) \cdot T_{\text{сн}}^j = \begin{cases} 0 & \text{при } X_{\text{сн}} < X_j; j = 1 \dots n_l; \\ \frac{1}{c \cdot \rho \cdot r_0} (\alpha_{\text{мт}} \cdot T_{\text{г}} - \frac{\lambda}{\delta} \cdot T_{\text{сн}}^i) & \text{при } X_{\text{сн}} \geq X_j; \end{cases}$$

$$S^* = \begin{cases} S(x) & \text{при } X_{\text{сн}} \leq L_{\text{ств}}; \\ S(L_{\text{ств}}) & \text{при } X_{\text{сн}} > L_{\text{ств}}; \end{cases} \quad X^* = \begin{cases} X_{\text{сн}} & \text{при } X_{\text{сн}} \leq L_{\text{ств}}; \\ L_{\text{ств}} & \text{при } X_{\text{сн}} > L_{\text{ств}}; \end{cases}$$

Начальные условия:

$$t = 0; X_{\text{сн}} = X_{\text{сн}}^0; \dot{X}_{\text{сн}} = 0; p = p_0; W = W_0; T = T_0; \omega_z = \psi_0 \cdot \omega_0; Q_{\text{тп}} = 0; g = 0;$$

$$\psi_1 = \psi_0; z_1 = z_0; \psi_i = 0; z_i = 0; (i = 2 \dots n_k); T_{\text{сн}}^j = T_{\text{сн}}^j_0 (j = 1 \dots n_l);$$

где K_{ϕ} – коэффициент второстепенных работ;

q – масса снаряда;

$J_{\text{сн}}$ – момент инерции снаряда при вращении вокруг продольной оси;

α – угол поворота снаряда в нарезах;

$\omega_z = \sum_{i=1}^{n_k} \omega_i$ – масса заряда; g – масса истекшего газа;

$X_{\text{сн}}, \dot{X}_{\text{сн}}, \ddot{X}_{\text{сн}}$ – перемещение, скорость и ускорение снаряда;

p – среднебаллистическое давление пороховых газов в канале ствола;

S^* – площадь поперечного сечения канала ствола;

p_0 – давление форсирования и сопротивления движению по стволу;

W – свободный объем полости в заснарядном пространстве;

$R_{\text{пр}}$ – приведенное значение универсальной газовой постоянной для пороховых газов;

ω_{Γ} – масса газа в заснарядной полости;

T – среднебаллистическая температура пороховых газов в канале ствола;

$\theta_{\text{пр}}$ – приведенное значение показателя адиабаты для пороховых газов;

$Q_{\text{тп}}$ – количество тепла, передаваемое стенке ствола по всей его длине;

n_k – число компонент заряда (1 компонента – воспламенитель);

f_i – сила пороха для i - компоненты;

θ_i – показатель адиабаты для i - компоненты, $\theta_i = (\kappa - 1)$;

$\omega_z = \sum_{i=1}^{n_k} \omega_i$ - масса заряда;

ω_i – масса i – компоненты;

ψ_i - текущее значение относительной сгоревшей части пороха i - компоненты;

T_{cm}^j - температура стенки ствола в j -ом сечении в процессе выстрела;

α_i – коволюм для i - компоненты;

ρ_i – плотность пороха для i - компоненты;

a_{zi} - поверхность горения пороха;

Γ_i – физический закон горения для i – компоненты;

z_i - относительная толщина сгоревшего слоя пороха i - компоненты.

K_i - коэффициент импульса пороховых газов;

$\lambda = \lambda(T)$ - коэффициент теплопроводности ствольной стали;

c – удельная теплоемкость ствольной стали;

ρ - плотность стального лейнера ствола;

δ - толщина прогреваемого слоя.

С учетом расширения ствола в результате нагрева при стрельбах площадь сечений вычисляется по формуле

$$S_i^* = S_i + \Delta S_i^{нагр};$$

где $\Delta S_i^{нагр}$ - изменение площади поперечного сечения канала в результате нагрева ствола по результатам решения тепловой задачи.

Объем камеры, соответствующий начальному периоду воспламенения, определяется по

формуле $W_0 = W_0^{doc} - \sum_{i=1}^{n_k} \frac{\omega_i}{\rho_i} - (\alpha_B - 1 / \rho_1) \cdot \psi_e \cdot \omega_B$.

Объем камеры после досыла снаряда $W_0^{doc} = W_{кам} - W_{доп} - W_{зп} + W_{дос}$,

где $W_{кам} = \frac{\pi}{4} \cdot \int_{l_{кв}} D_{iB} \cdot D_{iC} \cdot dx$; - объем камеры по результатам обмеров;

$W_{зп} = \int_{l_{зп}} S^{зп} dx$; - объем запоясковой части снаряда;

$W_{доп}$ - объем несгорающих элементов узла запираня и выстрела внутри камеры (без запоясковой части снаряда);

$W_{дос}$ - дополнительный объем камеры, формирующийся в результате досылки снаряда (соответствует положению снаряда $X_{сн}^0$ и вычисляется при подготовке начальных условий);

$S^{зп}(x)$ – площадь сечения запоясковой части снаряда (принимается с чертежа);

$l_{зп}$ - длина запоясковой части снаряда.

Площадь сечений канала ствола по результатам обмеров

$$S_i = \begin{cases} \frac{\pi}{4} \cdot D_{iB} \cdot D_{iГ} \text{ (гладкий);} \\ \frac{\pi}{4} \cdot [D_{iB}^n \cdot D_{iГ}^n + \frac{n_n \cdot b_n}{\pi \cdot D_{ср}} \cdot (D_{iB}^n \cdot D_{iГ}^n - D_{iB}^n \cdot D_{iГ}^n)] \text{ (нарезной);} \end{cases}$$

где D_{iB} , $D_{iГ}$ – измеренный диаметр канала ствола в i -том сечении в вертикальной и горизонтальной плоскостях;

D_{iB}^n , $D_{iГ}^n$, D_{iB}^H , $D_{iГ}^H$ – измеренный диаметр канала ствола в i -том сечении в вертикальной и горизонтальной плоскостях по полям и нарезам;

$D_{cp} = (D_{ив}^n + D_{иг}^n) / 2$ - средний диаметр канала по полям;

n_n – число нарезов;

b_n – ширина нарезки;

Характеристики порохового газа в процессе горения, характеристики процессов истечения газа через зазоры и при выходе снаряда из канала ствола, изменение характеристик пороха в зависимости от исходной температуры заряда определяются в соответствии с зависимостями ОСТ ВЗ-3296-85. Параметры порохового газа и заряда на участке воспламенения, входящие в начальные условия, определяются из решения системы уравнений состояния смеси газов и 1 закона термодинамики.

Глубина внедрения снаряда при досылке и соответствующее изменение объема камеры осуществляется решением задачи определения точки контакта ведущего пояска снаряда с поверхностью изношенного ствола, используя представление измеренной площади канала ствола аппроксимирующим кусочно-кубическим сплайном, и деформации ведущего пояска при внедрении его в ствол, используя решение задачи Ляме при воздействии на кольцо внутреннего давления $p_{вн}$ (от корпуса снаряда) и внешнего давления $p_{нар}$ (от поверхности канала ствола).

Учитывая, что при решении задач внутренней баллистики неизбежно приходится осуществлять согласование решения с экспериментальными данными с помощью согласующих коэффициентов K_f и K_i , обычно явления контакта при написании моделей не учитываются. Но при такой постановке согласование надо проводить по существу для каждого состояния ствола в зависимости от его износа или нагрева, что резко снижает качество расчетной модели и не позволяет ее использовать в качестве бесстрельбовой методики баллистической подготовки орудий.

Предлагаемая методика позволяет осуществить согласование с экспериментом только один раз, подбирая параметры под поставленную партию зарядов. В дальнейшем подобранные коэффициенты K_f и K_i используются при стрельбе с использованием этой партии из разных орудий, имеющих различный (измеренный приборами КПМ) износ, при различном нагреве ствола в процессе стрельбы.

В соответствии с предлагаемым алгоритмом были проведены контрольные расчеты для гладких и нарезных стволов танковой и полевой пушки.

В табл. 1 приведены данные сравнения проведенных по методике расчетов изменения начальной скорости снаряда в зависимости от износа ствола, с табличными данными для изделия 2А46М.

Таблица 1

Данные сравнения проведенных по методике расчетов изменения начальной скорости снаряда в зависимости от износа ствола, с табличными данными для изделия 2А46М

Тип снаряда	Износ ствола, мм	Начальная скорость V_0 , м/с	Потеря ΔV_0 , м/с	Потеря ΔV_0 , % (расчет по предложенной методике)	Потеря ΔV_0 , % табличная	Примечание
ЗБМ42	0	1699,9	0	0	0	согласов.
	0,4	1698,6	-1,3	0,1	0,4	
	1,0	1686,7	-13,2	0,8	0,8	
	1,67	1670,5	-29,4	1,73	1,34	
	2,8	1645,6	-54,3	3,19	2,74	
ЗБМ15	0	1785,5	0	0	0	согласов.

Тип снаряда	Износ ствола, мм	Начальная скорость V_0 , м/с	Потеря ΔV_0 , м/с	Потеря ΔV_0 ,% (расчет по предложенной методике)	Потеря ΔV_0 ,% табличная	Примечание
	0,4	1783	-2,5	0,14	0,4	
	1,0	1772,8	-12,7	0,71	0,8	
	1,67	1760,8	-24,7	1,38	1,34	
	2,8	1736,2	-49,3	2,76	2,26	
ЗБК18	0	905,02	0	0	0	согласов.
	0,4	905,33	+0,31	0	0,08	
	1,0	903,2	-1,82	0,2	0,2	
	1,67	900,5	-4,52	0,5	0,57	
	2,8	894,5	-10,51	1,16	1,58	
ЗОФ26	0	849,9	0	0	0	согласов.
	0,4	852,06	+2,15	0	0,08	
	1,0	847,1	-2,9	0,34	0,2	
	1,67	845,22	-4,7	0,55	0,57	
	2,8	839,44	-10,46	1,23	1,58	

Выводы

1. Приборный комплекс КПМ позволяет эффективно решать весь круг задач баллистической подготовки в артиллерийском дивизионе.
2. Предлагаемое усовершенствование методики внутрибаллистического расчета позволяет обеспечить использование определенных стрельбой баллистических параметров партии выстрелов для всех орудий дивизиона, независимо от износа ствола орудия.
3. Контрольные расчеты по предлагаемой методике подтвердили хорошую сходимость результатов расчета начальной скорости снаряда при различном износе ствола с табличными значениями, полученными экспериментально.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

V.E. Slutsky¹, A.A. Zaycev²

ON PROCEDURES OF HANDLING THE BALLISTIC PREPARATION OF ARTILLERY SYSTEMS BY APPLYING THE EQUIPMENT OF THE CHECK & TEST VEHICLE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E Alexeev¹,
Joint Stock Company "Central Research Institute "Burevestnik"²

A large number of shots is currently required to provide the ballistic preparation of the artillery systems. That results in huge material costs and time consumption. This paper contains the ballistic preparation procedures of the artillery systems by applying the equipment of the check & test vehicle, which allows to minimize the number of shots. Check calculations of the proposed procedures confirmed a good convergence of the muzzle velocity calculation results under a different barrel wear with the experimentally obtained tabulated values.

Key words: Ballistic preparation, artillery system, check & test vehicle.

УДК 681.5:622.692

А.С. Волков¹, И.Е. Волкова², П.А. Земсков¹**КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК В НЕФТЕПРОВОДЕ**Нижегородский филиал ООО «НПА Вира Реалтайм»¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Описывается параметрический и волновой (непараметрический) алгоритмы контроля герметичности нефтепровода, реализованные в программном комплексе «Сириус-СППР»[1], позволяющие осуществлять мониторинг работы нефтепровода в реальном масштабе времени с использованием штатной измерительной аппаратуры.

Параметрический алгоритм основывается на сравнении фактических значений давления и расхода, поступающих из SCADA, с результатами расчета по одномерной гидродинамической модели трубопровода.

Непараметрический (волновой) алгоритм использует результаты обработки показаний датчиков давления с помощью кепстрального анализа и преобразования Гильберта – Хуанга в реальном масштабе времени. Результаты практического внедрения параметрического алгоритма и экспериментальные расчеты на реальных данных с помощью волнового алгоритма показывают, что комбинированный алгоритм повышает достоверность обнаружения утечек в реальном масштабе времени на действующих нефтепроводах при нестационарном течении.

Ключевые слова: нефть, нефтепровод, нестационарное течение, преобразование Гильберта-Хуанга.

В настоящее время в системах обнаружения утечек на нефтепроводах используются как параметрические, основанные на математических моделях нефтепроводов, так и непараметрические методы, основанные на анализе гидравлических характеристик участка нефтепровода [2]. Алгоритм, реализованный в модуле проверки герметичности комплекса «Сириус-СППР» использует и параметрические и непараметрические методы, что позволяет избежать недостатков, присущих каждому из известных методов, сократить количество ложных срабатываний и увеличить точность локализации утечек.

Параметрические методы

Поскольку нет универсального способа определения утечки при всех режимах работы нефтепровода, который бы отвечал необходимым критериям точности и быстродействия, все методы были условно разделены на несколько групп, в зависимости от области их применения – это методы, используемые:

- 1) при нестационарном режиме;
- 2) стационарном режиме;
- 3) обнаружении утечки в граничных точках;
- 4) обнаружении утечки на стоячей трубе.

Алгоритм при нестационарном режиме основан на методе, описанном в статье Ванг С. и Кэрролл Дж.Дж [3], при этом формула определения места утечки была доработана по результатам испытаний и используется в следующем виде:

$$LeakPosition = \frac{L}{(1 - sign(E_1)E_1^2 / sign(E_2)E_2^2)}$$

Интенсивность утечки:

$$Volume = |E_1| - |E_2|,$$

где L – длина трубопровода; E_1 и E_2 – разница между фактическими и расчётными показаниями, соответственно, левого и правого расходомеров.

$sign(E_1)$ и $sign(E_2)$ – знак E_1 и E_2 соответственно.

Этот алгоритм включается сразу при переходе из стационарного режима в нестационарный. Координата рассчитывается в течение заданного промежутка времени, пока волны распространяются по нефтепроводу наиболее интенсивно. Затем, если рассчитанная интен-

сивность утечки выше заданного порога, выдаётся утечка с рассчитанной координатой.

Алгоритм анализа гидроуклона дополняет предыдущий метод и тоже используется при нестационарном режиме. Суть метода заключается в нахождении минимума напора после линейризации и исключения тренда линий гидроуклона на линейных участках трубопровода.

Для того чтобы утечка проявилась в условиях нестационарного режима, на фоне влияния случайных факторов, она должна быть достаточно большой. Кроме того, необходимо некоторое время, чтобы волны улеглись и минимум проявился.

По результатам тестирования такого метода, выявились следующие проблемы:

- 1) при линейризации гидроуклона по расчётным данным требуется более точное описание физических режимов;
- 2) при линейризации гидроуклона только по фактическим данным, при утечке в начале или в конце трубы, утечка может сглаживаться.

При стационарном режиме используется алгоритм, в котором, с использованием скользящего окна, определяется максимальное отклонение текущего значения давления от предыдущих значений.

Точность определения координаты утечки при стационарном режиме зависит:

- 1) от точности фактических показаний датчиков давления;
- 2) удалённости датчиков друг от друга;
- 3) объёма утечки;
- 4) наличия возмущений.

Погрешность определения координаты утечки составляет не более

$$dL = L/2,$$

где L – максимальное расстояние между датчиками давления на отслеживаемом участке.

В случае, если выполняются следующие условия:

- 1) нет значительных возмущений по давлению;
- 2) есть рассчитанная интенсивность утечки выше установленного порога;
- 3) стационарный режим.

то включается таймер определения утечки в граничных точках линейного участка нефтепровода. Если в течение работы этого таймера вычисленная координата утечки будет, с заданной погрешностью, соответствовать началу или концу линейного участка, то это будет свидетельствовать о наличии утечки в граничных точках. Если по окончании работы таймера, интенсивность утечки не уменьшится, то будет выдано сообщение об утечке и её координата, в противном случае, если интенсивность утечки опустится ниже заданного порога, таймер сбросится и сообщение об утечке не появится.

На рис. 1 изображен график изменения давления в трубопроводе при малой утечке. На горизонтальной оси – расстояние от нефтеперекачивающей станции (км), на вертикальной – отклонение давления в трубопроводе (%).

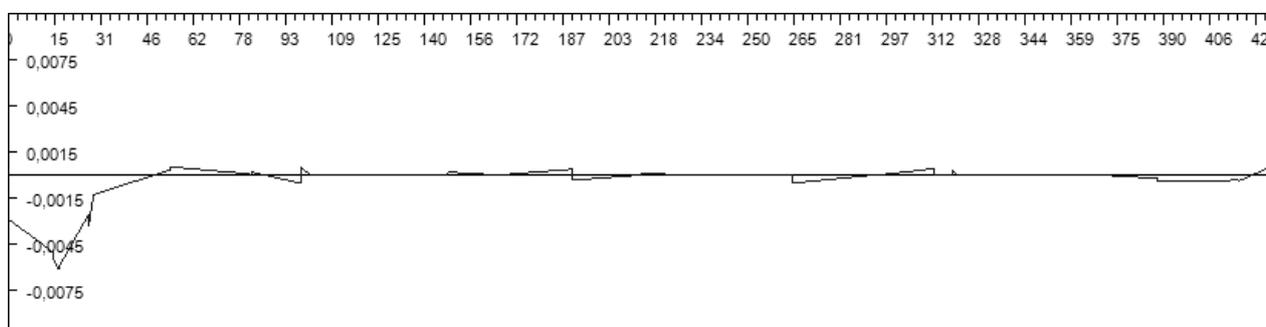


Рис. 1. Пример проявления малой утечки на расстоянии 15 км от начала нефтепровода

Непараметрические методы

Для повышения достоверности обнаружения утечки в модуле проверки герметичности комплекса «Сириус-СППР» осуществляется спектральный и кепстральный анализ, а также анализ на основе преобразования Гильберта-Хуанга и EMD-метода [4-5].

Для проверки работоспособности разработанного алгоритма было проведено численное исследование с использованием экспериментальных данных, которые были получены с датчиков давления с частотой выборки 1Гц.

На рис. 2 – рис. 4 изображены результаты спектрального (б) и кепстрального (в) анализов, а также преобразования Гильберта-Хуанга (г) показаний датчиков давления в реальном масштабе времени действующего нефтепровода.

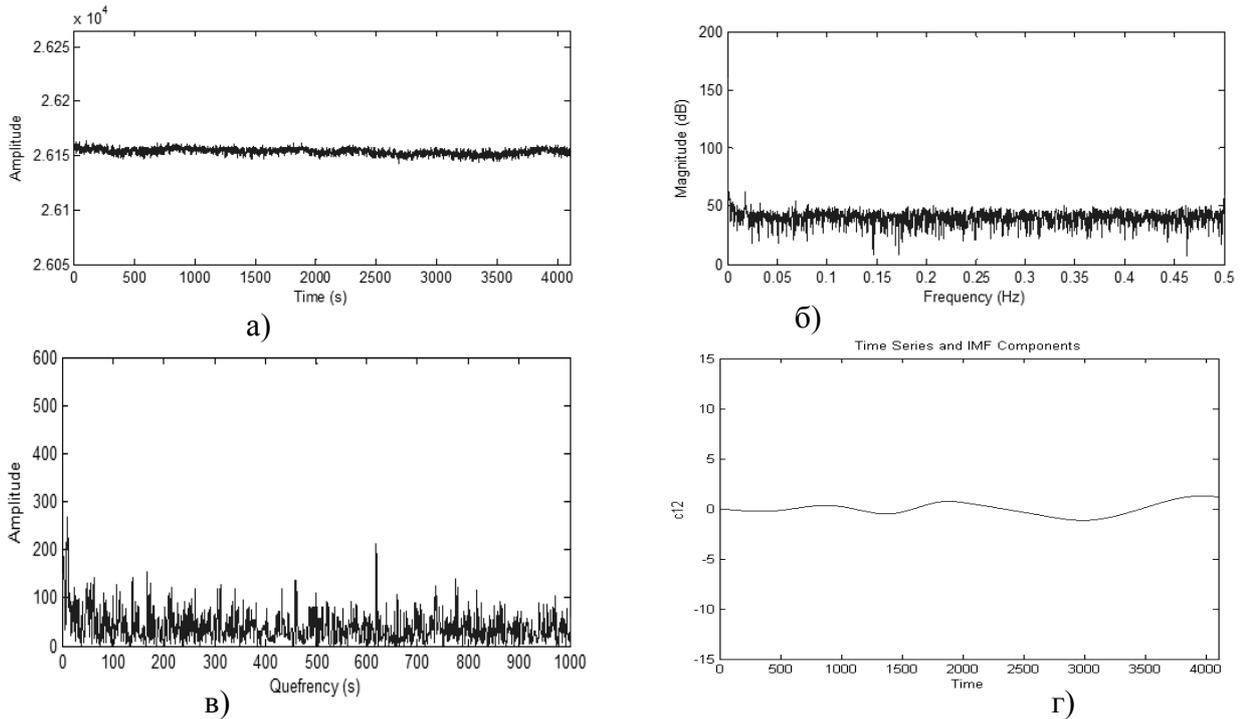
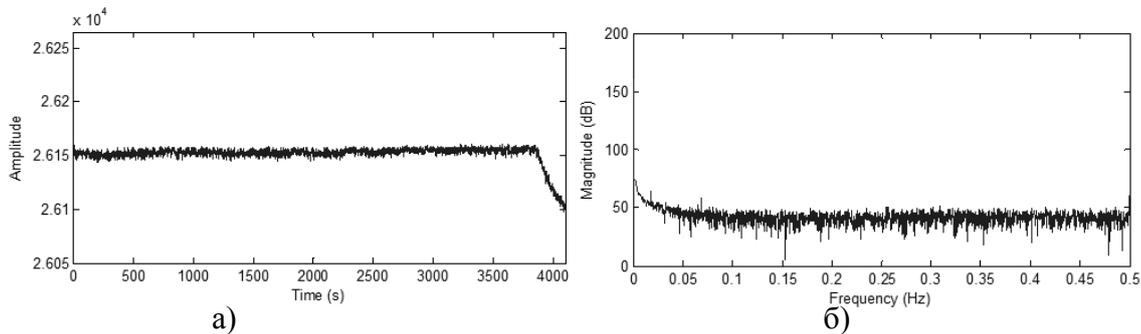


Рис. 2. Утечка отсутствует:

а – изменение давления в течение 4000 с; б – спектр сигнала датчика давления; в – кепстр сигнала датчика давления; г – компонента c12 IMF EMD- разложения сигнала датчика давления



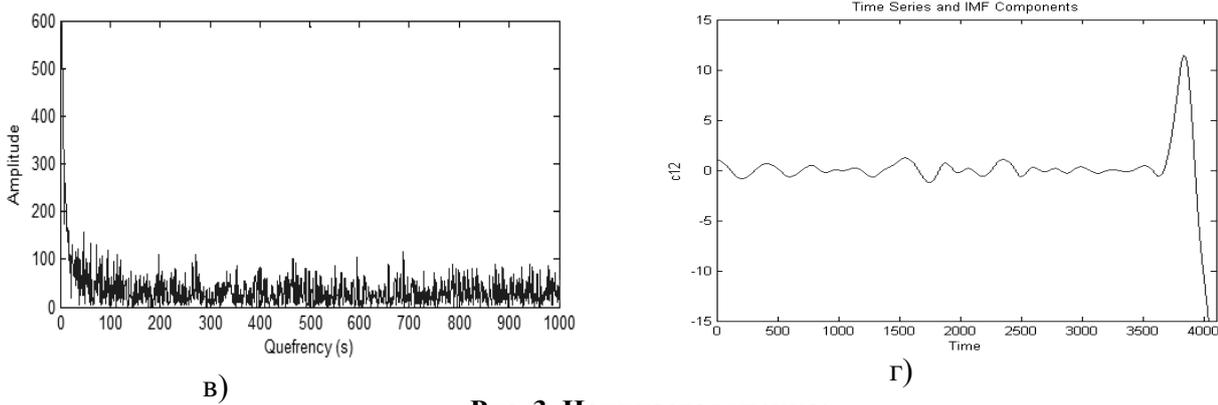


Рис. 3. Начинается утечка:

a – изменение давления в течение 4000 с; *б* – спектр сигнала датчика давления; *в* – кепстр сигнала датчика давления; *г* – компонента *c12* IMF EMD - разложения сигнала датчика давления

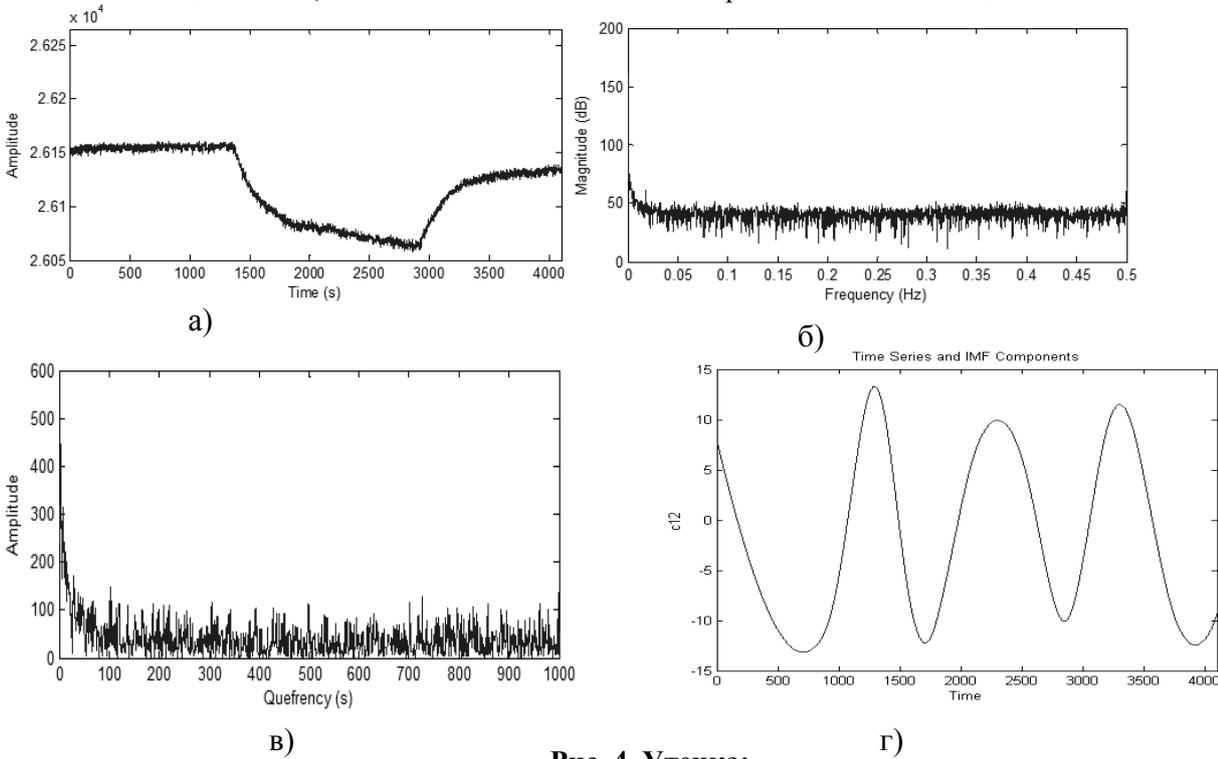


Рис. 4. Утечка:

a – изменение давления в течение 4000 с; *б* – спектр сигнала датчика давления; *в* – кепстр сигнала датчика давления; *г* – компонента *c12* IMF EMD- разложения сигнала датчика давления

Из графиков следует, что наблюдая только за спектром сигнала (рис. 2, *б* – рис. 4, *б*), наличие или отсутствие утечки в трубопроводе определить довольно трудно. Однако кепстр сигнала (рис. 2, *в* – рис. 4, *в*) реагирует на появление утечки резким ростом амплитуды колебаний на низких частотах.

Кроме того, с развитием утечки (рис. 3, *г* – 4, *г*), компонента *c12* IMF EMD-разложения сигнала датчика давления приобретает колебательный характер. Время возникновения колебаний соответствует времени начала утечки.

Выводы

По результатам исследования можно сделать вывод, что утечка в большей степени проявляет себя в низкочастотной области. На спектре Фурье утечка проявляет себя слабо, в отличие от кепструма, где на низких частотах наблюдается значительное увеличение амплитуды.

На IMF компонентах сигнала также можно отследить появление утечки (рис. 2 – рис. 3) и зная скорость распространения волны давления в трубопроводе, определить координату утечки.

Как следует из численных экспериментов, частотно-временной анализ течения жидкости в трубопроводе, в совокупности с параметрическими методами, позволит существенно повысить точность диагностирования утечек и уменьшить количество ложных срабатываний.

Библиографический список

1. Программный комплекс «Сириус-СППР» - система моделирования процессов транспортировки нефти // ИСУП. 2014. №1. С. 109–112.
2. Кутуков С.Е. Проблема повышения чувствительности, надежности и быстродействия систем обнаружения утечек в трубопроводах // Нефтегазовое дело. 2004. Т. 2. С. 29–45.
3. **Wang, S.** Leak Detection for Gas and Liquid Pipelines by Online Modeling / S. Wang, J.J. Carroll // June 2007 SPE Projects, Facilities & Construction. P. 9.
4. Huang, N., Z. Shen, S. Long, M. Wu, H. Shin, Q. Zheng, N. Yen, C.C. Tung and H. Liu, " The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear, nonstationary lime series analysis," 1998 Proc. R. Soc. Lond. V. A454. P. 903–995.
5. **Зверев, В.А.** Выделение сигналов из помех численными методами / В.А. Зверев, А.А. Стромков. – Нижний Новгород: ИПФ РАН 2001. – 188 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A.S. Volkov, I.E. Volkova, P.A. Zemskov

COMBINED METHOD OF LEAK DETECTION IN PIPELINE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev,
Nizhny Novgorod branch of «Vira Realtime» Ltd.

Purpose: The article describes the parametric and wave (non-parametric) leakage control algorithms implemented in the pipeline integrity program complex "Sirius-DSS" [1], which permit monitoring the pipeline in real time using the standard instrumentation. The parametric algorithm is based on the comparison of the actual pressure and flow values coming from the SCADA with the calculation results of the one-dimensional hydrodynamic model of the pipeline.

Approach: The nonparametric (wave) algorithm employs the pressure sensor values processed with the aid of cepstrum analysis and the Hilbert-Huang transform in real time.

Finding: The results of the parametric algorithm practical implementation coupled with the wave algorithm experimental calculations on real data demonstrate that the combined algorithm improves the accuracy of real-time leakage detection on the operating pipelines with unsteady flow.

УДК 519.688

Э.С. Соколова, И.Е. Волкова, О.П. Тимофеева, Е.С. Кадиленко

**ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
БЕСПИЛОТНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются основные особенности программной реализации системы управления беспилотными транспортными средствами в пределах ограниченной сети автодороги. Представлены результаты работы системы на небольшом наборе данных и выполнен анализ полученных результатов.

Ключевые слова: автопилот, интеллектуальная система управления, программная реализация, транспортные средства.

В последнее время появляется всё больше интеллектуальных систем помощи водителю, а также ведутся активные разработки полностью автопилотируемых транспортных средств. Наиболее ярким представителем автопилотируемых транспортных средств в настоящее время является беспилотный автомобиль Google. Есть основания полагать, что в будущем подобные автопилотируемые транспортные средства практически полностью заменят привычные всем автомобили, и появится возможность эффективного управления всем транспортным потоком. Подобная система, позволяющая оптимизировать перемещения всех автопилотируемых транспортных средств, рассматривается в [1]. Для проверки эффективности данной системы было разработано клиент-серверное приложение.

Клиент-серверное приложение состоит из двух частей: клиент, представляющий собой отдельное приложение с графическим интерфейсом для конфигурирования графа, и сервер, который является консольным приложением, содержащим непосредственно реализацию алгоритма. Взаимодействие клиента с сервером осуществляется через сеть посредством сокетов. Для этого создана отдельная библиотека, реализующая проприетарный протокол обмена данными между клиентом и сервером.

Сервер разработан как многопоточное консольное приложение с четырьмя потоками: поток соединения с клиентом, поток вычисления карты оптимальных путей, поток вычисления оптимальных маршрутов и буферный поток.

Поток соединения с клиентом обрабатывает входящие запросы установления связи с клиентом, принимает конфигурацию графа и перенаправляет её в остальные потоки, а также отправляет клиенту результаты каждой промежуточной итерации нахождения оптимальных путей. Поток соединения с клиентом реализован с помощью двух классов (рис. 1).

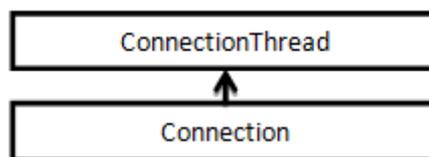


Рис. 1. Структура классов для потока соединения

Поток вычисления карты оптимальных путей содержит конфигурацию графа, представляемую в виде двух списков: списка узлов и списка связей. Реализовано два типа узлов и связей. Первый тип узлов и связей используется для хранения начальной конфигурации графа, а также используется в процессе создания карты оптимальных путей.

Списки, составленные по этим узлам и связям, создаются один раз и хранятся до завершения работы приложения. Второй тип узлов и связей используется для хранения карты оптимальных путей. Списки второго типа создаются как результат вычисления оптимальных путей и посылаются на хранение в буферный поток. Реализация потока вычисления карты оптимальных путей состоит из 14 классов (рис. 2).

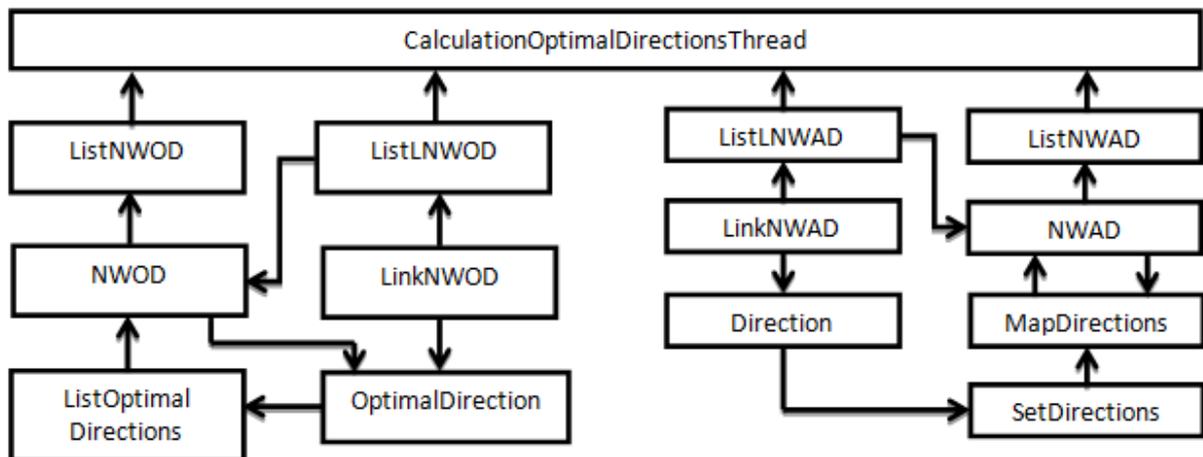


Рис. 2. Структура классов для потока вычисления карты оптимальных путей:
NWAD – Node With All Directions; NWOD – Node With Optimal Directions; LNWAD – Link Node With All Directions; LNWOD – Link Node With Optimal Directions

Поток вычисления оптимальных маршрутов содержит список транспортных средств и указатель на список узлов второго типа, представляющий карту оптимальных путей. В этом потоке работает таймер, при срабатывании которого запрашивается указатель на текущую карту оптимальных маршрутов. Период срабатывания таймера равен промежутку времени, за которое вычисляется промежуточное решение. После получения указателя начинается вычисление промежуточного решения для транспортных средств. Результат вычисления представляется четырьмя типами объектов: точкой, путем, решением и списком решений. Точка является минимальной структурой решения и содержит три параметра: идентификатор узла, скорость и время. Путь является списком точек. Решение объединяет транспортное средство и путь для него. Результатом работы алгоритма является список решений, содержащий промежуточные пути для всех транспортных средств, которые ещё не достигли конечной точки (рис. 3).

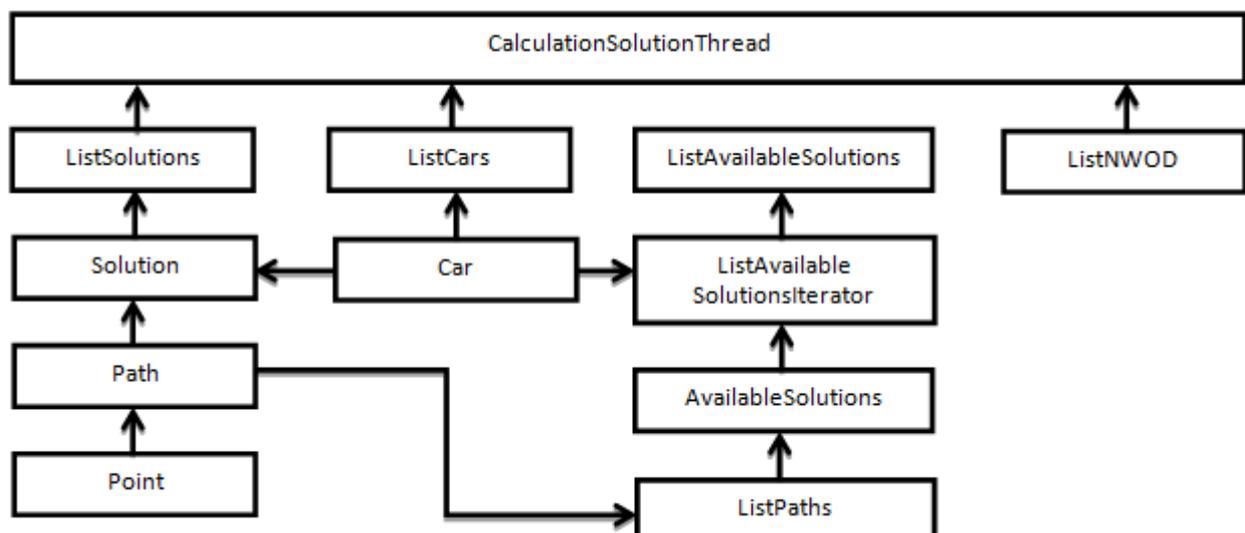


Рис. 3. Структура классов для потока вычисления оптимальных маршрутов

Буферный поток используется для хранения текущей карты оптимальных путей и хранения необработанных решений. Этот поток необходим для синхронизации работы потока вычисления оптимальных маршрутов и потока вычисления карты оптимальных путей (рис. 4).

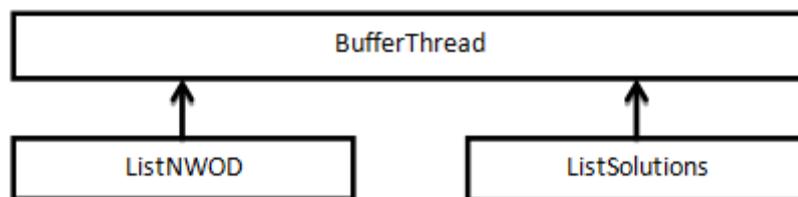


Рис. 4. Структура классов для буферного потока:
NWOD – Node With Optimal Directions

Тестирование системы проводилось на двух компьютерах находящихся в одной сети. Сервер работал на стационарном компьютере с 4-ядерным процессором IntelCorei5 с частотой 2.80 Ghz, оперативной памятью общим объёмом 4 Гб, под управлением операционной системы Ubuntu 14. Клиент работал на ноутбуке с 4-ядерным процессором IntelCorei5 с частотой 2.50 Ghz, оперативной памятью общим объёмом 6 Гб, под управлением операционной системы Windows 7.

Для тестирования использовался граф, содержащий 246 вершин и 256 связей. Суммарная длина дороги, смоделированная данным графом, составляет примерно 500 м и имеет две полосы движения, по одной полосе в каждом направлении. В процессе тестирования перед каждым запуском добавлялось по одному транспортному средству. Максимальное количество транспортных средств, одновременно участвующих в движении, составило 38.

Результаты представлены на графике, отображающем зависимость между количеством машин в конфигурации и наибольшим временем нахождения промежуточного решения (рис. 5).



Рис. 5. Диаграмма зависимости максимального времени вычисления промежуточного решения от количества машин на графе

Как видно из диаграммы, система успешно работает (время просчета решения меньше максимально допустимого), если число транспортных средств, одновременно участвующих в движении, не превышает 37.

Следует отметить, что тестирование велось на относительно слабом оборудовании для данного типа задач. Ожидается, что повышение вычислительной мощности процессора даст значительно лучшие результаты работы системы управления движением. Также отметим,

что программно реализован упрощённый метод разрешения конфликтов, оптимизация которого позволила бы значительно ускорить нахождение промежуточных решений. Помимо этого дальнейшее распараллеливание вычислений с целью оптимизации используемых ресурсов вычислительного оборудования поможет сократить время нахождения промежуточных решений.

В целом достигнутый результат можно считать положительным. Рассмотренная система является хорошей базой для дальнейших исследований возможности оптимизации движения множества транспортных средств в заданном координатном пространстве путей.

-
1. **Соколова, Э.С.** Интеллектуальная система управления беспилотными транспортными средствами в пределах ограниченной сети автодороги / Э.С. Соколова, О.П. Тимофеева, Е.С. Кадиленко // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №4. С. 191–193.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

E.S. Sokolova, I.E. Volkova, O.P. Timofeeva, E.S. Kadilenko

PECULIARITIES OF CONTROL SYSTEM SOFTWARE FOR UNMANNED VEHICLES

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The main peculiarities of control system software for unmanned vehicles within a limited road network is described in this paper. The results of modeling with the small amount of data are presented. Analyses of the results are described in this paper.

Key words: autopilot, intelligent control system, software implementation, vehicles.

УДК 004.8

И.Е. Волкова, П.А. Шагалова, Д.А. Ляхманов

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МНОГОШАГОВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Проведено исследование проектирования нейросетевых систем для решения актуальной задачи многошагового прогнозирования. При проектировании систем учитывались проблемы и особенности разработки архитектур нейронных сетей и подготовки исходных данных. Представлены результаты сравнения систем прогнозирования на несколько шагов вперед на основе различных архитектур нейронных сетей.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, многослойный перцептрон, многошаговое прогнозирование.

В любой сфере деятельности, так или иначе, существует необходимость прогнозирования связанных с ней процессов. При этом каждый из этих процессов имеет свою природу, зависит от различных факторов, имеет свои особенности и закономерности. К одним из наиболее перспективных методов анализа данных процесса и оценки динамики его развития относят нейросетевые методы [1]. Интерес к использованию именно систем искусственного интеллекта связан с их гибкостью, обучаемостью, способностью к абстрагированию и выявлению сложных взаимосвязей между событиями.

Построение нейросетевой системы состоит из трех основных этапов: подготовки входных данных, разработки архитектуры сети, обучения. Подготовка входных данных является отправной точкой при разработке системы и включает в себя: анализ исходных данных, определение формата обучающих примеров и объема обучающей выборки [2]. Разработка архитектуры подразумевает выбор топологии сети, определение количества нейронов каждого слоя и используемых функций активации. Процесс обучения заключается в подстройке весовых коэффициентов сети [2] для решения конкретной задачи, алгоритм подстройки весов зависит от выбранной топологии.

Нейросетевое прогнозирование, в соответствии с планируемым горизонтом прогнозирования, можно разделить на два вида: одношаговое прогнозирование и многошаговое. Одношаговый – это прогноз, выполняемый за одну итерацию (один шаг) на один интервал времени вперед. Многошаговый – прогноз на несколько шагов вперед.

При разработке архитектуры системы для получения одношагового прогноза последний слой сети содержит единственный нейрон, с выхода которого получают спрогнозированное значение. На нейроны первого слоя подаются значения временного ряда. Количество нейронов скрытых слоев может варьироваться в зависимости от размерности задачи. Для подготовки обучающей выборки берется так называемое «окно» - n значений временного ряда, $n-1$ значений – это входы сети, n -е значение – это выход сети, каждый пример обучающей выборки получается путем сдвига этого окна на одно значение (на одну единицу времени) вперед (рис. 1).

Наиболее распространенным способом построения многошагового прогноза является использование описанной системы одношагового прогнозирования с одним нейроном в выходном слое. Многошаговый прогноз при этом представляется как множество одношаговых,

причем каждый полученный на очередной итерации прогноз используется в качестве истинного при получении следующего значения. Так как любой прогноз содержит ошибку, то при использовании спрогнозированного значения в качестве истинного на последующих этапах, эта ошибка добавляется к собственной ошибке следующих значений.

Таким образом, происходит очень быстрое накопление ошибки, и уже на 3-6-м шагах (зависит от стабильности исследуемого процесса) прогноз будет иметь значительное отличие от эталона.

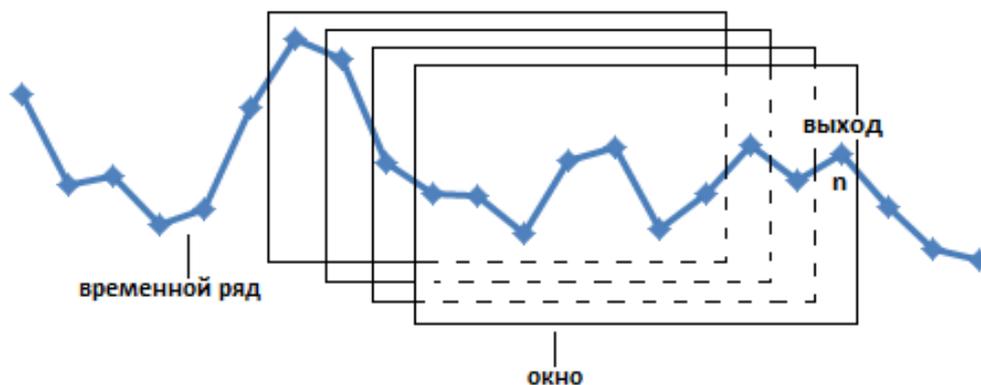


Рис. 1. Формирование обучающей выборки для многослойной сети с одним выходным нейроном

Также для выполнения многошагового прогнозирования возможно построение системы таким образом, что выходной слой содержит не один, а несколько нейронов (количество нейронов равно количеству шагов), на выходе каждого из которых получается спрогнозированное значение. Для подготовки каждого примера обучающей выборки в этом случае используется $n+t$ значений временного ряда (где t – количество прогнозируемых значений), $n-1$ значений – это входы сети, значения $n, n+1, n+2, \dots, n+t$ – это выходы сети (рис. 2). При использовании модели сети с несколькими нейронами в выходном слое также существует проблема: в отличие от предыдущей модели, где спрогнозированное значение используется в качестве истинного при получении следующего значения, в текущей модели при прогнозировании предыдущие спрогнозированные значения вообще не учитываются.

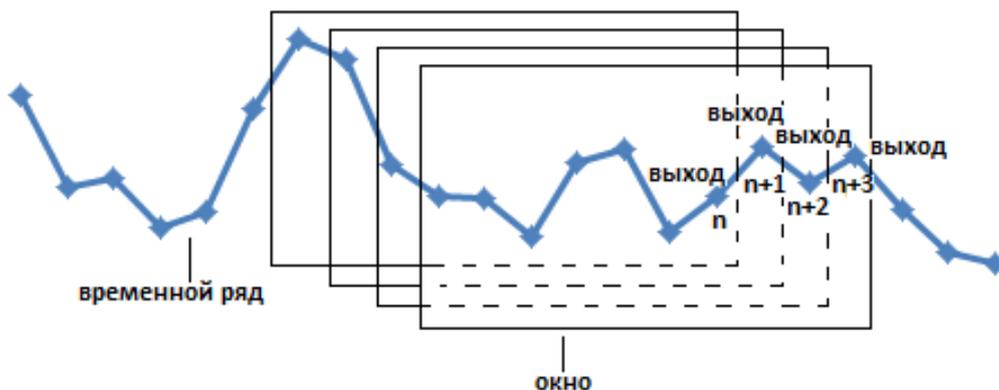


Рис. 2. Формирование обучающей выборки для многослойной сети с несколькими выходными нейронами

В данном исследовании были проведены разработка и сравнение систем прогнозирования с использованием модели с одним нейроном в выходном слое, модели с несколькими

нейронами в выходном слое, а также еще двух моделей, адаптированных к построению многошагового прогноза с учетом описанных проблем.

Смысл адаптации заключался во введении дополнительных связей между нейронами выходного слоя во вторую из описанных архитектур. Эти связи позволят реализовать использование спрогнозированных значений при получении прогноза, а также, в отличие от первой архитектуры, спрогнозированные значения будут учитываться еще на этапе обучения системы, что позволит сети подстроить свои параметры наилучшим образом.

Было предложено два варианта введения дополнительных связей внутри выходного слоя. Первый вариант заключается в связывании выходов каждого нейрона последнего слоя с входами всех последующих нейронов этого слоя. Это позволит учитывать все спрогнозированные значения во время обучения системы. Однако добавление внутренних связей увеличит время обучения.

Второй вариант предполагает добавление связей между каждыми двумя соседними нейронами выходного слоя, что позволит учитывать при прогнозировании только предыдущее спрогнозированное значение временного ряда. Использование этого варианта сократит количество внутренних связей и время обучения системы.

В рамках работы было проведено множество экспериментов, в каждом из которых при соблюдении одинаковых условий были использованы все четыре описанные модели многослойного персептрона. В качестве входных данных были взяты метеорологические данные (температура воздуха).

Далее представлены результаты одного из экспериментов (рис. 3). Прогноз осуществлялся на 5 шагов вперед, тестовое множество – 150 примеров.

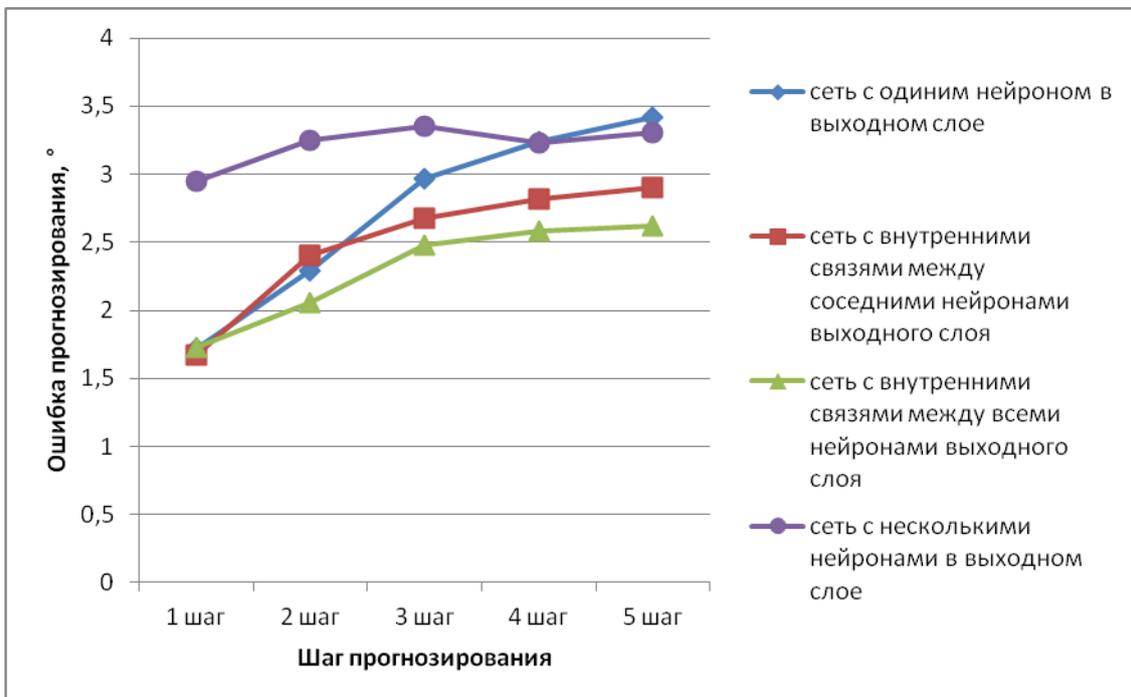


Рис. 3. График зависимости ошибки прогнозирования от шага прогнозирования

Анализируя результаты можно отметить, что наилучшие данные были получены для сети со связями между всеми нейронами выходного слоя, а самую низкую точность прогноза дало использование архитектуры сети с несколькими нейронами в выходном слое, но без связей между ними. Начиная со второго шага, наблюдается рост ошибки сети с одним выходным нейроном, ошибка прогнозирования адаптированных моделей выросла, но гораздо менее значительно. Следовательно, предложенная в процессе исследования адаптация архи-

тектуры нейронной сети действительно позволила снизить накопление ошибки с ростом шага прогнозирования.

Библиографический список

1. **Соколова, Э.С.** Разработка и апробация эмулятора нейросетевого моделирования для целей прогнозирования временных рядов. / Д.В. Дмитриев, Д.А. Ляхманов, Э.С. Соколова // Современные проблемы науки и образования. 2012. №6.
2. **Ясницкий, Л.Н.** Введение в искусственный интеллект : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Л.Н. Ясницкий. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «Академия», 2008. –176 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

I.E. Volkova, P.A. Shagalova, D.F. Lyakhmanov

DEVELOPMENT OF THE MULTI-STEP-AHEAD FORECASTING SYSTEM BASED ON THE MULTILAYER ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

We researched the neural network system design for solving of the actual problem of multi-step-ahead forecasting. The problem of architecture design and handling of input data were taken into account during development of the system. The results of comparison of prediction systems based on the different neural network architectures were presented in the study.

Key words: artificial neural network, multilayer perceptron, multi-step-ahead forecasting.

УДК 621.9

И.Л. Лаптев¹, Е.А. Лаптева²**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ИНСТРУМЕНТА - ЗУБИЛА**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева¹,
ГБОУ СПО Борский Губернский колледж²

Предложен вариант повышения результативности работы зубил за счет модернизации геометрии лезвия. Насечки специальной формы обеспечивают дополнительное движение инструмента вдоль кромки при ударе без изменения кинематических возможностей привода.

Ключевые слова: зубило, геометрия лезвия, сила резания металлообработка, технология, система приготовления.

В разных отраслях промышленности, таких как строительство, машино-, авиа- и судостроение для рубки металла, удаления дефектов и технологических отходов литья и проката, разделки мест под сварку, зачистки сварных и литейных швов применяются инструменты ударного действия. Основным рабочим (режущим) инструментом, наравне с другими видами обработки (например, абразивной), при рубке является зубило.

Зубило – ударно-режущий инструмент для обработки металла. При сообщении зубилу ударного усилия со стороны бойковой части (затыльника) с помощью молотка, бойка отбойного молотка, рубильного молотка или перфоратора режущая кромка зубила воздействует на обрабатываемый материал, разрезая его или раскалывая [1].

Слесарные работы с использованием инструмента – зубила – широко применяются в настоящее время. История ударного инструмента длинна и разнообразна, но тем не менее, и по сей день возникает необходимость повышения эффективности ручных, не заменимых на текущий момент работ.

На сегодняшний день накоплен большой опытный материал по конструкциям пневматических рубильных молотков и зубил. Однако в основном вопросы повышения эффективности работы зубил связаны с расширением технологических возможностей приводного инструмента и не затрагивают направление, связанное с модернизацией лезвия зубил.

Актуальная задача любого предприятия – повышение эффективности работы по обработке заготовок металлов и сплавов и других технологических операций с использованием зубил с наименьшими финансовыми вложениями со стороны собственника.

Зубила изготавливаются из инструментальной углеродистой, легированной и быстрорежущей стали, лезвие зубила имеет твердость не менее HRC 58-61.

Стандартные конструкции лезвия зубил [2,3] имеют сплошную кромку и отличаются только углом заточки. Лезвием с тупым углом заточки рубят твердые металлы (сталь средней твердости — с углом заточки не меньше 60°; чугун, бронзу, твердые стали — не меньше 70°). Меньшего угла заточки лезвия требует рубка мягких металлов (медь, латунь — 45°, цинк и алюминий — 35°).

Результаты патентного поиска на различные конструкции зубила приводят к выводу, что основные направления модернизации связаны с попыткой улучшить характеристики приводных устройств (пневматических молотков, перфораторов и др.), что диктует необходимость финансовых вложений в разработку или приобретение новых средств технологического оснащения предприятия. Однако отсутствуют варианты возможности повышения эффективности работы зубил за счет модернизации рабочей части, что не

требует больших финансовых вложений.

В качестве теоретических основ модернизации конструкции предлагается изменить геометрию лезвия инструмента – зубила – за счет использования известной разницы влияния толщины и ширины среза на силу резания, а также факту повышения эффективности механической обработки за счет дополнительных движений [4,5].

На основе базовой конструкции зубила было предложено несколько вариантов модернизации.

На рис. 1 изображено зубило стандартной конструкции. Угол заточки для обработки стали 10 равен 60° . Представленная конструкция является наиболее часто применимой.

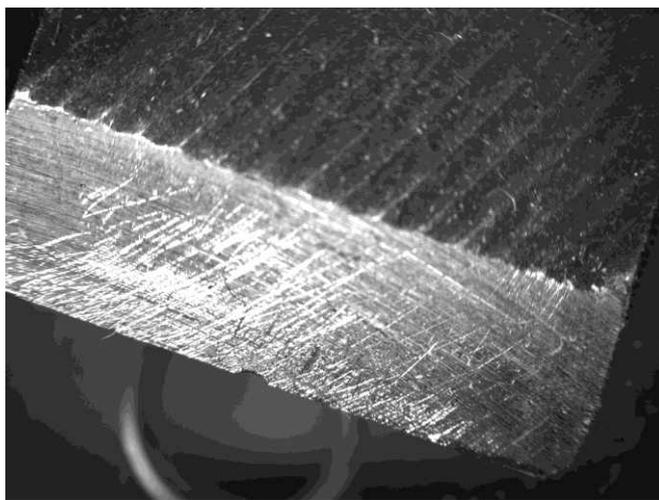


Рис. 1. Режущая часть зубила стандартной конструкции

Теоретические предположения о возможности интенсификации обработки базируются на следующих направлениях:

1. Известная из теории обработки материалов формула, связывающая силу резания P с параметрами режима резания [5]:

$$P = C_P a^{0.75} b^{1.0},$$

где C_P – постоянная, учитывающая условия обработки,

a – толщина среза,

b – ширина срезаемого (сминаемого или деформируемого) слоя.

2. Любые дополнительные движения в процессе резания инструментом повышают эффективность его работы [6-8]. При этом дополнительное движение вдоль режущей кромки зубила должен создавать сам инструмент, а не устройство, приводящее его в движение (например, пневмомолоток с возможностью реализации радиальных перемещений инструмента).

Варианты модернизации режущей части зубила связаны с возможностью увеличения глубины проникновения лезвия (a) с уменьшением ширины реза (b). Из-за разной степени влияния этих элементов режима обработки на силу P можно сделать вывод: с уменьшением ширины реза b , например в два раза, при неизменной силе удара P глубина проникновения в металл a может увеличиться в $2^{1.0/0.75} = 2,52$ раза. Варианты модернизации лезвия зубил представлены на рис. 2.

В качестве первого варианта модернизации базовой конструкции зубила (зубило №2) предложено сделать несколько прямых насечек на режущей кромке. Такая модернизация позволит увеличить глубину реза, но при этом на обрабатываемой поверхности останутся следы от насечек, которые уберутся при последующих ударах. Теоретически уменьшение ширины деформируемого слоя позволяет увеличить глубину деформации при одном и том же усилии. Геометрия насечек имеет форму равнобедренного треугольника в сечении, проходящем через ось и режущую кромку инструмента. Глубина насечки составляет 2-3 мм.

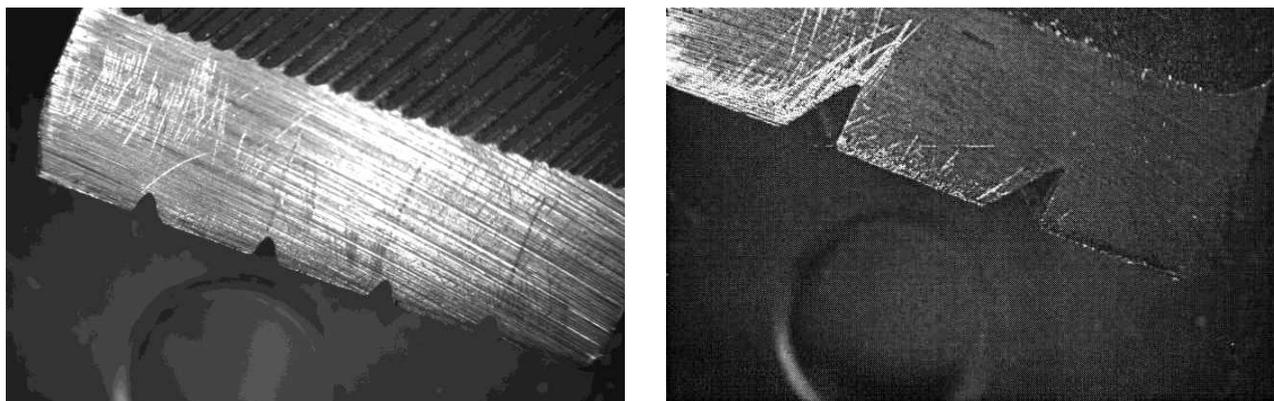


Рис. 2. Варианты модернизации режущей части зубила №№ 2, 3

В варианте модернизации базовой конструкции зубила №3 (рис. 2) предложено уменьшить длину режущей кромки за счет нескольких косых насечек. Данная модернизация позволит определить наличие составляющей силы резания, направленной вдоль режущей кромки. Одновременно с уменьшением ширины деформированного слоя обеспечивается дополнительное рабочее движение вдоль кромки. Глубина насечки составляет 4-5 мм. Угол наклона насечки лежит в интервале $45-60^\circ$.

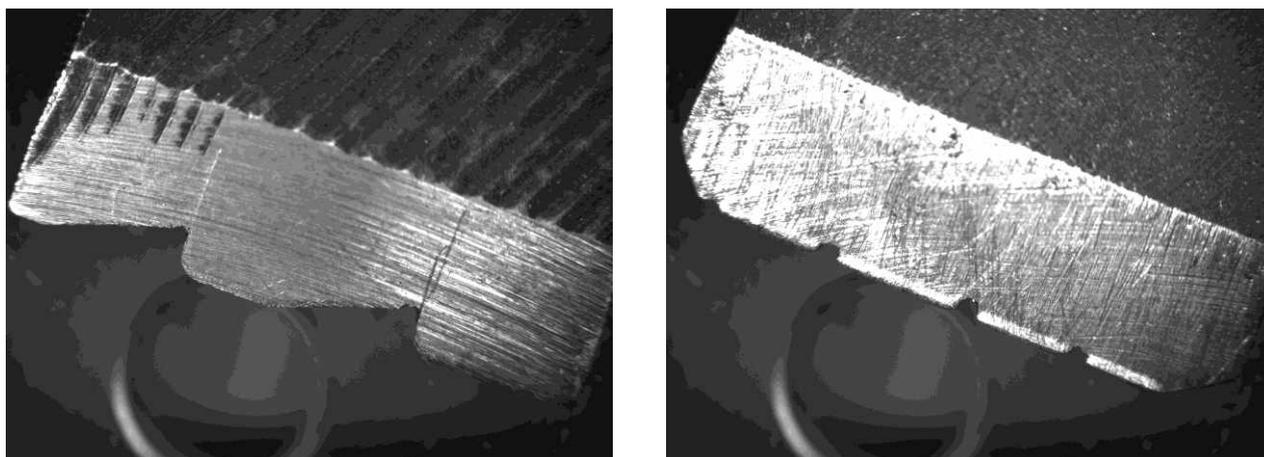


Рис. 3. Варианты модернизации режущей части зубила №№ 4, 5

Следующим вариантом модернизации (рис.4) зубила является создание наклонных треугольных насечек. Угол наклона насечки относительно режущей кромки 30° . Кроме того, конструкция насечки предполагает наличие фаски с углом наклона $45-60^\circ$. Длина фаски около 1 мм. Такая форма насечки разработана для обеспечения движения инструмента вдоль режущей кромки. Это достигается за счет разницы углов наклона насечки и фаски и, как следствие, различных величин составляющих сил резания (зубило №4).

В четвертом варианте модернизации конструкции базовой модели (зубило №5) для реализации движения инструмента вдоль режущей кромки была предложена следующая геометрия: несколько симметричных насечек для разделения режущей кромки форма насечек в сечении представляет собой равнобедренный треугольник (рис. 7). Такая форма позволяет уравнивать возникающие составляющие силы резания. Кроме того, на режущей кромке имеются две фаски: одна из них пологая, угол наклона $30^\circ-45^\circ$, с противоположной стороны фаска более крутая, угол наклона $50-60^\circ$. Со стороны фаски с большим углом имеется притупленная часть кромки длиной 2-3 мм и глубиной менее 1 мм.

Подобная форма режущей части теоретически должна обеспечить возвратно-поступательное движение вдоль кромки, что должно еще более повысить эффективность

обработки.

Проведена серия экспериментов, позволяющих оценить величину и направление действующих в процессе удара зубилом сил, а также оценить размеры полученного реза. Пример оценки результатов экспериментов приведен на рис. 4.

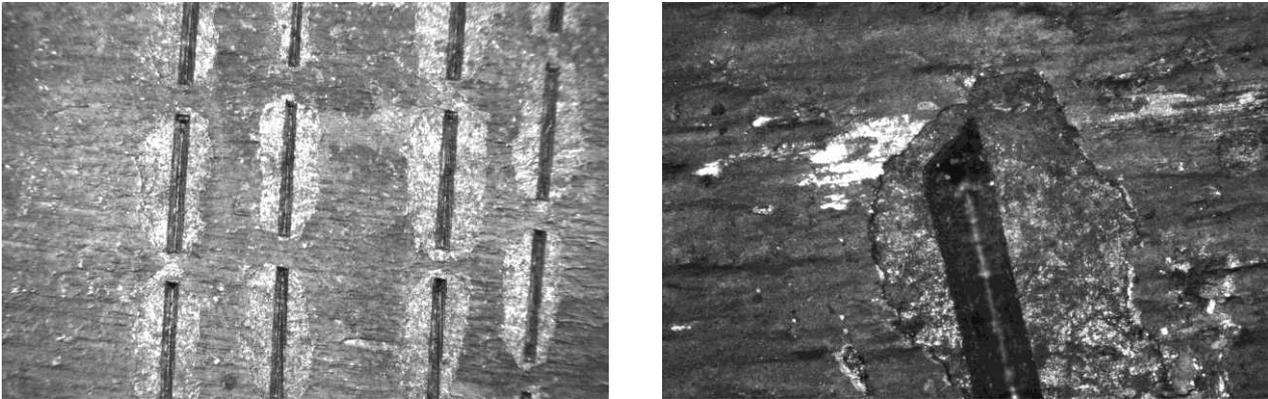


Рис. 4. След реза от удара зубила № 3 (коэффициенты увеличения 5 и 40)

При проведении эксперимента возвратно-поступательное движение вдоль линии режущей кромки наблюдалось при работе с зубилом №5, в остальных случаях перемещение кромки было односторонним.

По экспериментальным данным можно отметить, что в модернизированной конструкции зубила №5 попытка реализации дополнительного возвратно-поступательного движения осуществилась. Результаты обработки экспериментальных данных представлены на рис. 5.

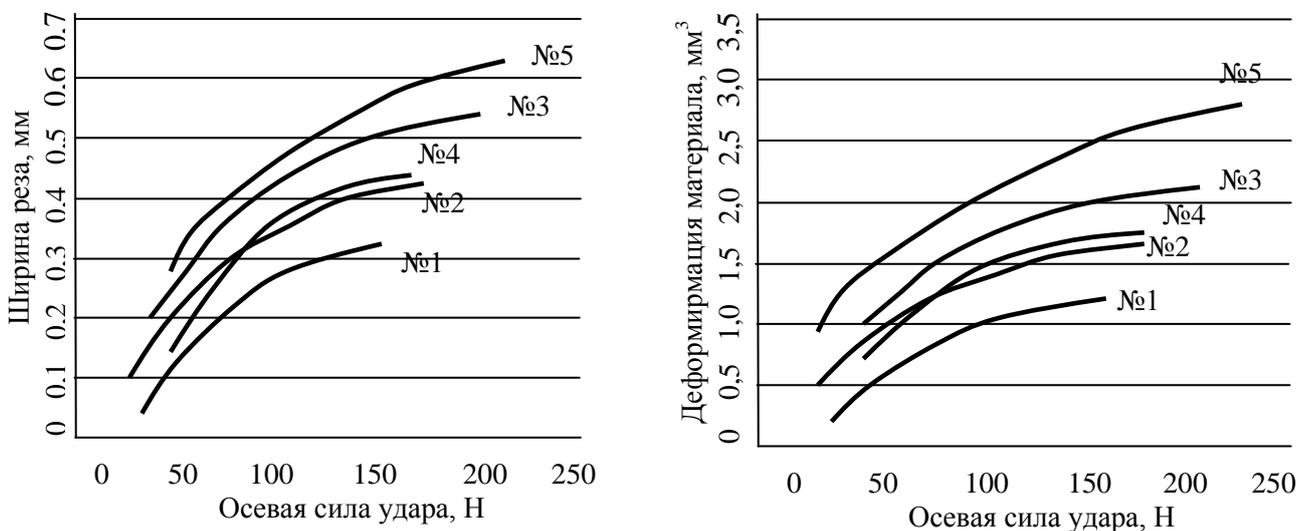


Рис. 5. Зависимость ширины реза и объема деформированного металла от осевой силы удара

Из проведенного лабораторного эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Активная длина кромки зубила влияет на результат работы (объем деформированного материала при одинаковой силе удара). Зависимость является немонотонной.
2. Оптимальная ширина активной кромки зубила для заданных предприятием условий составляет ориентировочно 19 мм. В базовой конструкции ширина активной кромки 26 мм.
3. Дополнительное движение зубила вдоль режущей кромки повышает эффективность работы инструмента. Конструкции зубил №№3 и 5 обеспечивают больший объем де-

формированного материала при постоянной силе удара.

4. Возвратно-поступательное движение вдоль кромки повышает эффективность работы инструмента. Конструкция зубила №5 обеспечивает больший объем деформированного материала.

5. Затраты на заточку зубил по предлагаемой конструкции режущей части не требуют дополнительных вложений предприятия на оборудование и шлифовальные круги.

6. По результатам патентного поиска конструкции предлагаемых вариантов заточки режущей части зубила являются патентнопригодными.

Общий вывод: при незначительном увеличении экономических затрат на заточку зубил по предлагаемым вариантам эффективность операции обрубки может быть увеличена до двух раз без модернизации технологического оборудования.

Библиографический список

1. **Шмаков, В. Г.** Кузница в современном хозяйстве / В. Г. Шмаков. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
2. ГОСТ 7211-86 «Зубила слесарные. Технические условия». – М.: Госстандарт, 1986.
3. ГОСТ 11418-75 «Инструмент кузнечный для ручных и молотовых работ. Зубила. Конструкция и размеры». – М.: Госстандарт, 1975.
4. Резание материалов / Е.Н. Трёмбач [и др.]. – Старый Оскол: ООО «ГНТ», 2007. – 512 с.
5. **Верещака, А.С.** Резание металлов / А.С. Верещака. – М.: Высш. шк., 2009. – 535 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

I.L. Laptev, E.A. Lapteva

INCREASING EFFECTIVENESS OF CHISEL FUNCTIONING

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev¹,
Vor provincial college²

Purpose: Increase effectiveness of chisel functioning through cutting edge geometry modernization.

Findings: Special notches provide auxiliary tool movement alongside cutting edge at punch. No drive modification needed to perform such movements.

Key words: chisel, cutting edge geometry, cutting force, metalcutting, technology, preparation system.

УДК 623.535

Н.Ш. Маликов¹, В.Е. Слущкий²**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «ОРУДИЕ - СТВОЛ - ВЫСТРЕЛ»
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТОЧНОСТИ СТРЕЛЬБЫ**ОАО «ЦНИИ «Буревестник»¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Излагается методика задачи формирования угла вылета снаряда в пространственной постановке для гладких, нарезных стволов орудий, в широком диапазоне начальных скоростей снаряда, реализованная с помощью программного комплекса LS DYNA. Приводятся результаты практических расчетов и подтверждение результатов экспериментальными данными.

Ключевые слова: динамика, программный комплекс LS DYNA, конечные элементы, ствол, оси, непрямолинейность, нарезы.

Обеспечение высокой точности стрельбы всегда являлось главной задачей проектирования и эксплуатации артиллерийских комплексов. В 70–80-е годы XX века усилиями предприятий МинОборонПром и, в значительной степени, ЦНИИ «Буревестник» были достигнуты значительные результаты в области количественного анализа процессов формирования параметров точности стрельбы прямой наводкой из гладкоствольных орудий и использования их в танковой и противотанковой артиллерии.

В настоящее время, в связи с мощным развитием вычислительной техники и программных средств многостороннего назначения, появилась реальная возможность существенно расширить круг тонких динамических исследований процесса выстрела для целей обеспечения точности стрельбы на область стрельбы из нарезных стволов прямой наводкой и по навесной траектории, стрельбы из автоматических орудий с высокой скорострельностью в широком диапазоне начальных скоростей снарядов.

В статье изложена методика построения задачи формирования угла вылета снаряда в пространственной постановке для гладких, нарезных стволов орудий, в широком диапазоне начальных скоростей снаряда, реализованная с помощью программного комплекса LS DYNA. Приводятся результаты практических расчетов и подтверждение результатов экспериментальными данными.

Разработанная модель рассматривает пространственную задачу динамики поведения составных частей орудия (ствола, люльки, башни, шасси) и снаряда при выстреле в процессе прохождения снаряда по стволу и вылете из ствола. Элементы конструкции представлены соответствующим набором конечных элементов, который позволяет решить задачу с минимальными затратами времени. В расчете проводится учет упруго-пластических характеристик материала, зазоров и рассеивания энергии при движении, деформации и колебательных процессах.

В качестве реализованного примера на рис. 1 приведена расчетная модель для 152 - мм нарезной пушки типа 2А65 при стрельбе осколочно-фугасным снарядом.

Особенности построения модели:

- пушка нарезная калибра 152 мм;
- пушка динамически неуравновешенная (присутствует плечо динамической пары);

- присутствует сопротивление откату в процессе выстрела (во время движения снаряда по каналу ствола).

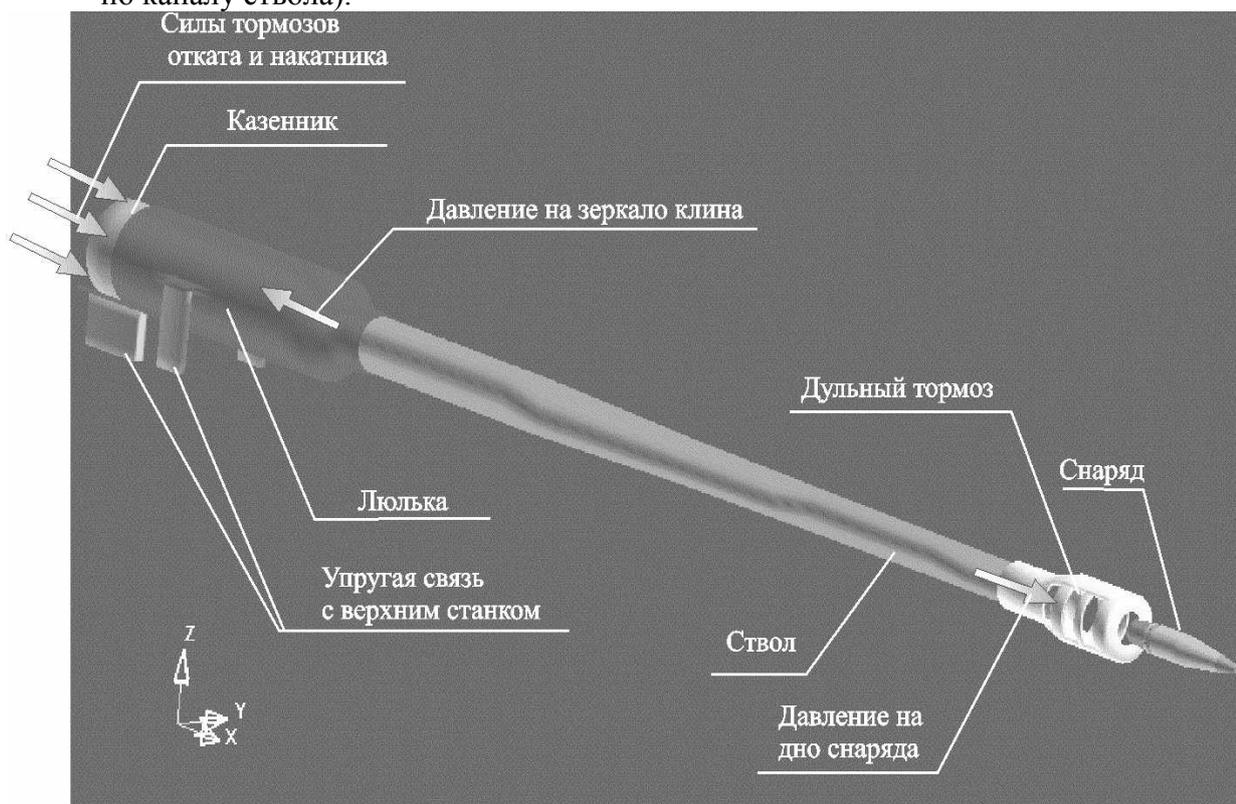


Рис. 1. Расчетная схема

В расчетной схеме учтены действующие в системе нагрузки (рис. 1).

1. Давление на дно снаряда.
2. Давление на дно камеры (зеркало клина).
3. Силы, действующие со стороны накатника и тормозов отката в местах их приложения;
4. Распределенное давление вдоль канала ствола, возникающее за снарядом при его движении по каналу ствола.
5. Нагрузки, возникающие при движении снаряда по непрямолинейному стволу.
6. Нагрузки на нарезках в канале ствола и на ведущем пояске снаряда, придающие вращение снаряду.

На рис. 2 представлены схемы разбиения элементов конструкции на конечные элементы и график отклонения от прямолинейности оси канала ствола по его длине.

Нарезы представлялись поворотом конечных элементов трубы относительно продольной оси предыдущих элементов на угол, соответствующий крутизне нарезки. Нарезы ведущего пояска для лучшей устойчивости представлялись в виде шестиугольных (гексаэдров) элементов.

Индивидуальный угол вылета снаряда вычислялся с учетом угла наклона базовой оси канала ствола перед выстрелом:

$$\gamma_{\text{инд}} = \gamma_{\text{дин}} + \gamma_{\text{попр}} - \theta_{\text{баз}};$$

$\gamma_{\text{дин}}$ – динамический угол вылета;

$$\gamma_{\text{дин}} = V_{\text{поп}} / V_0,$$

где $V_{\text{поп}}$ – поперечная относительная скорость центра масс снаряда после вылета из канала ствола;

V_0 – продольная (начальная) скорость снаряда;

$\gamma_{\text{попр}}$ – поправка к углу вылета снаряда, получаемая на начальном участке траектории;

$\theta_{\text{баз}}$ – угол наклона базовой оси ствола перед выстрелом.

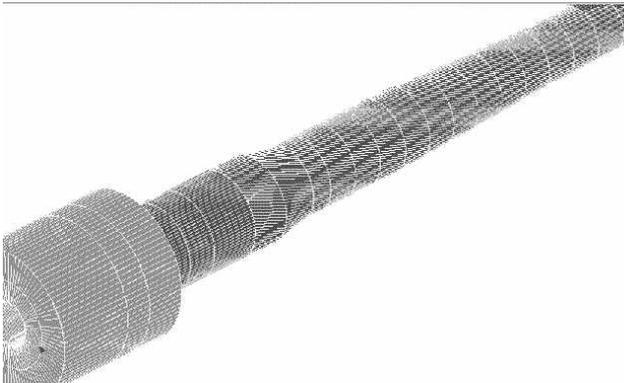
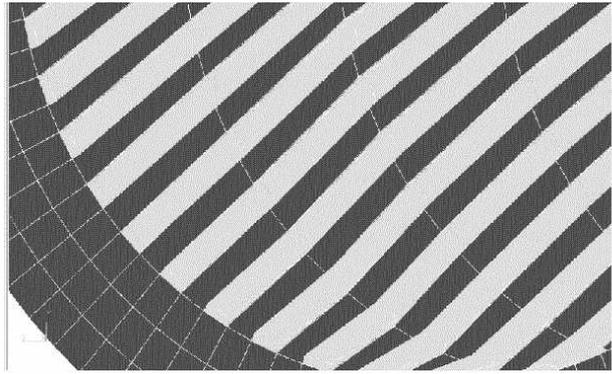


Схема разбиения на конечные элементы трубы с казешником



Представление поля нарезов ствола конечными элементами

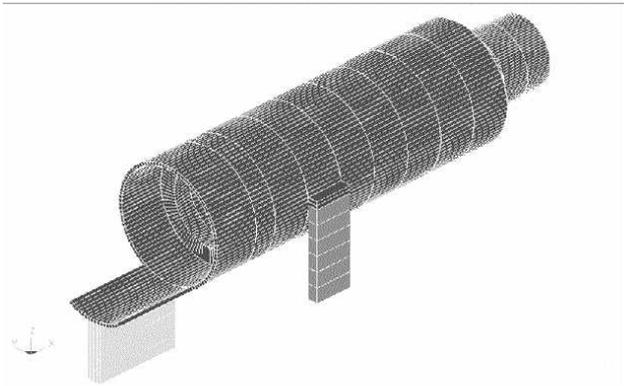


Схема разбиения на конечные элементы люльки с опорами

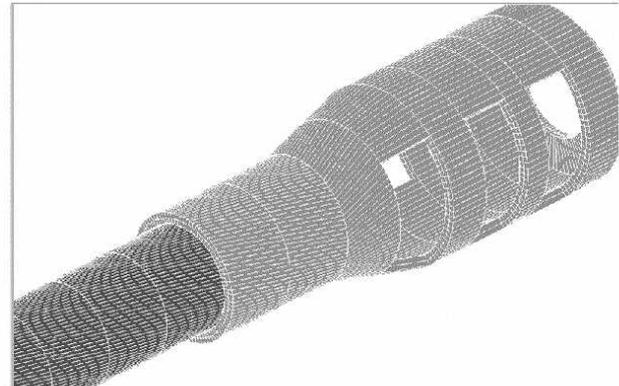


Схема разбиения на конечные элементы дульного тормоза

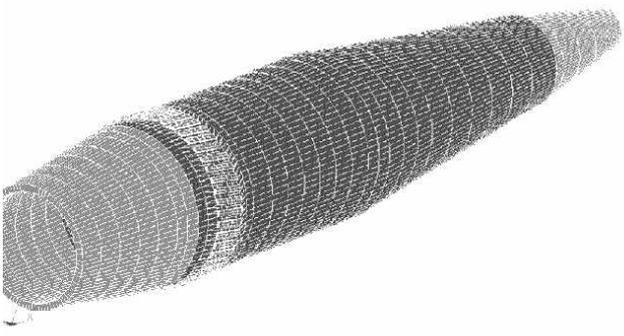
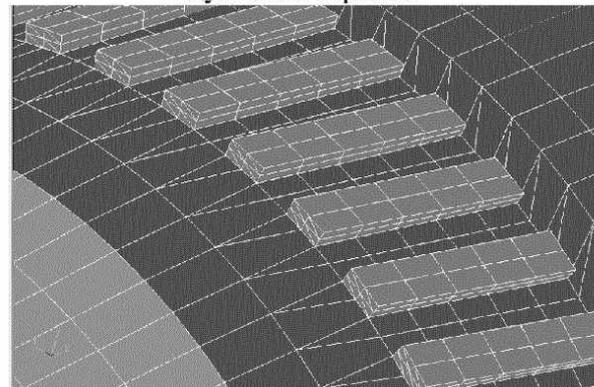
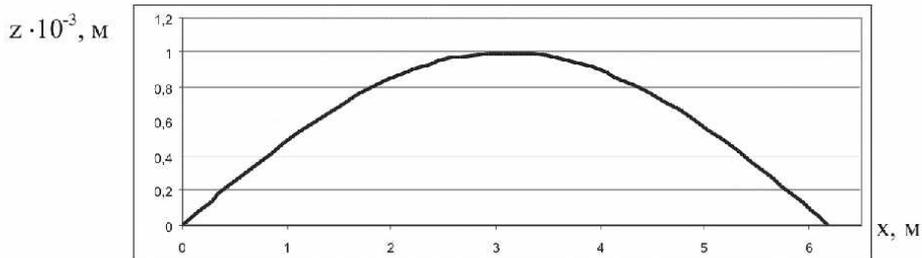


Схема разбиения на конечные элементы снаряда



Представление нарезов снаряда конечными элементами



Задаваемое смещение узлов, моделирующее непрямолинейность оси канала ствола
z - отклонение от прямолинейности; x – расстояние от дульного среза

Рис. 2. Схема представления конструкции конечными элементами

В процессе построения модели было достигнуто наибольшее соответствие геометрических размеров элементов модели (снаряда, ствола, люльки) и массовых и жесткостных характеристик с реальными.

Модель включает около 30 тысяч конечных элементов, время расчета на вычислительной машине Pentium 3 ГГц составляет около 8 часов. Такое представление модели обеспечивает устойчивость решения задачи при заданных начальных условиях.

На рис. 3 и в табл. 1 показаны отдельные результаты решения задачи для 152 - мм нарезной пушки типа 2А65 при стрельбе осколочно-фугасным снарядом 3ОФ45.

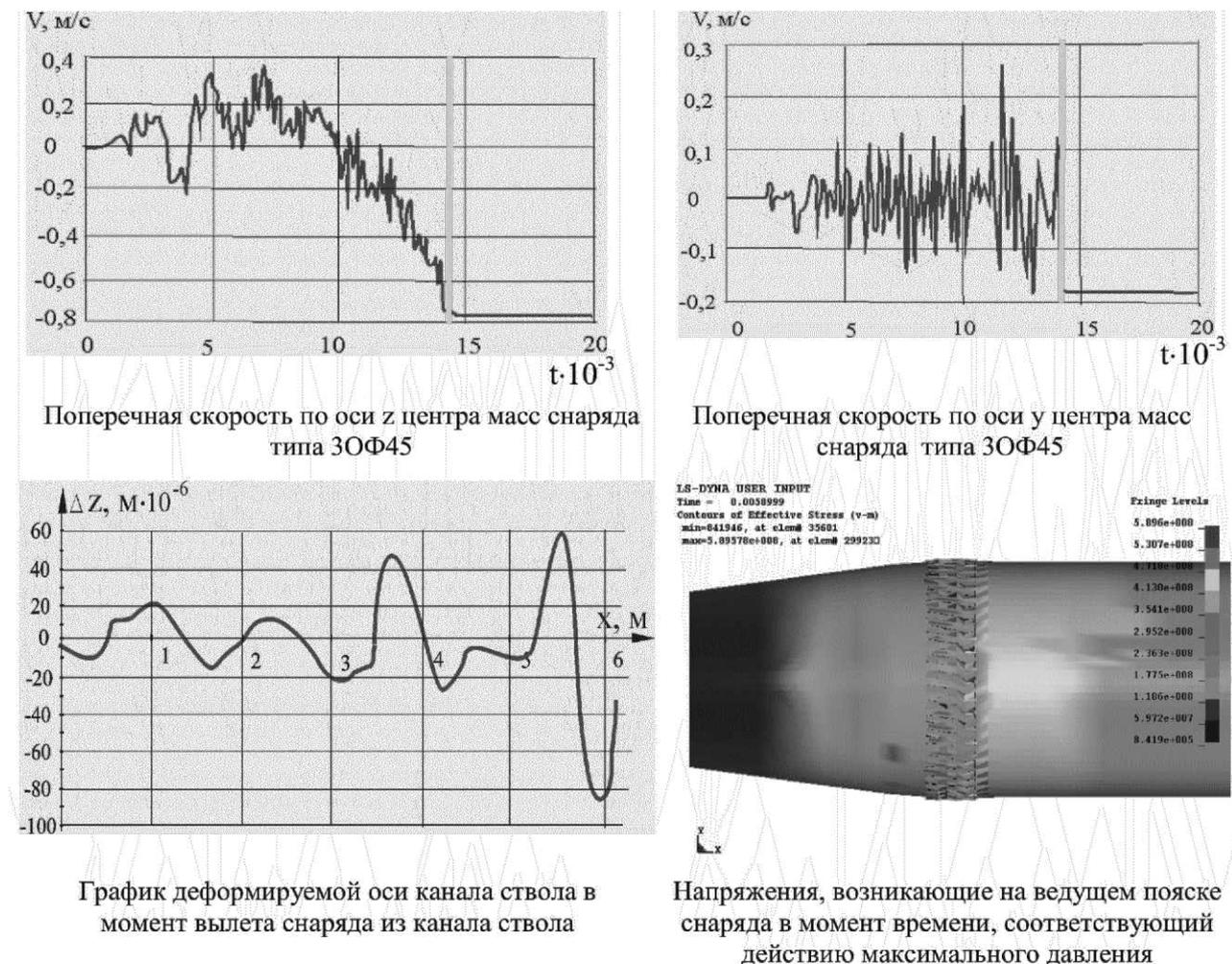


Рис. 3. Результаты решения

Таблица 1

Результаты определения угла вылета снаряда 3ОФ45 из ствола

Ось	Поперечная скорость центра масс снаряда, м/с	Динамический угол вылета, мрад	Индивидуальный угол вылета, мрад
Z	-0,761	-0,939	-0,432
Y	-0,187	-0,231	-0,231

Приведенные результаты расчетов подтверждают возможность решения широкого класса задач динамики выстрела и формирования точностных характеристик орудия с использованием разработанной методики на базе программного комплекса LS DYNA.

Следует отметить, что вследствие прецессии снаряда при движении в нарезном стволе наблюдается взаимодействие колебаний, возникающих из-за наличия непрямолинейности оси канала ствола по горизонтальной и вертикальной осям. Кроме того, наблюдается суще-

ственно большая чувствительность по сравнению со стрельбой из гладкого ствола к наличию эксцентриситета масс снаряда, к точности описания процесса колебаний ствола и снаряда.

Для проверки точности новой методики был проведен комплекс расчетов для группы из 17 пушек 2А46М, отстрелянных в конце 80-х годов на Донгузском полигоне, для которых имеются подробные экспериментальные результаты и результаты расчетов по существующим методикам.

Особенности построения модели пушки 2А46М:

- пушка гладкоствольная калибра 125 мм;
- пушка динамически уравновешенная (плечо динамической пары отсутствует);
- сопротивление откату незначительно в процессе выстрела (во время движения снаряда по каналу ствола).

Ствол был представлен в виде тела с распределенными параметрами, состоящим из тысячи конечных элементов. Люлька, казенник интерпретировались в виде упругих тел с эквивалентной массой и моментом инерции. Люлька соединяется с неподвижным верхним станком опорами с упругими элементами эквивалентной жесткости. Различные виды снарядов, входящих в боекомплект пушки, были разделены на одну – две тысячи конечных элементов.

Результаты расчета и их сравнение со стрельбовыми результатами представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета и их сравнение со стрельбовыми результатами

Номер трубы		Стрельбовый угол вылета	Расчетный угол вылета	Разница стрельбового и расчетного	Номер трубы		Стрельбовый угол вылета	Расчетный угол вылета	Разница стрельбового и расчетного
1	y	0,28	0,472	-0,192	10	y	0,32	0,541	-0,221
623	z	-0,13	-0,036	-0,094	X2B8403	z	0,12	0,006	0,114
2	y	0,30	0,292	0,008	11	y	0,48	0,419	0,061
520	z	-0,17	-0,108	-0,062	X2B741806	z	0,10	-0,101	0,201
3	y	0,25	0,317	-0,067	12	y	0,28	0,322	-0,042
523	z	0,00	-0,117	0,117	494	z	-0,30	-0,152	-0,148
4	y	1,14	0,820	0,34	13	y	0,08	0,006	0,074
880722	z	0,20	0,055	0,145	881110	z	-0,31	-0,179	-0,131
5	y	0,64	0,823	-0,183	14	y	0,94	0,637	0,303
880615	z	-0,49	-0,189	-0,301	440880	z	-0,26	0,027	-0,287
6	y	0,94	0,654	0,286	15	y	0,19	0,180	0,010
ЛВ742586	z	0,12	-0,183	0,303	1144	z	-0,26	-0,091	-0,169
7	y	0,66	0,501	0,159	16	y	0,10	0,201	-0,101
X2B8869	z	-0,30	-0,207	-0,093	1010	z	-0,43	-0,091	-0,339
8	y	0,60	0,471	0,129	17	y	0,12	0,155	-0,035
1039	z	0,05	-0,151	0,201	880 927	z	-0,20	-0,090	-0,110
9	y	0,52	0,302	0,218	Средние	y	0,461	0,419	Среднее 0,001
687	z	-0,04	-0,008	-0,032		z	-0,135	-0,095	$S_{\Delta} = 0,184$

Выполненный расчет хорошо согласуется со стрельбовыми результатами, а также с используемой методикой приведения пушек к нормальному бою по бесстрельбовым зависимостям, опирающимися на разложение формы кривой отклонения от прямолинейности оси канала ствола по формам колебаний. Это строго подтверждает статистический анализ, приведенный далее.

Проверка соответствия выборочных средних критериям закона Стьюдента (табл. 3).

Если $t = \left| \gamma_p - \gamma_{np} \right| \cdot \sqrt{\frac{m}{S_p^2 + S_{np}^2}} \leq t_{m-1, \alpha/2}$, то результаты статически неразделимы.

где $\gamma_p^i, \gamma_{np}^i$ – значения углов вылета снаряда для i – трубы, полученные расчетным, стрельбовым методами; m – количество труб в выборке; t – статистика закона Стьюдента; $t_{m-1, \alpha/2}$ – квантиль закона Стьюдента с уровнем значимости α (двухсторонний интервал).

Таблица 3

Сравнение результатов со стрельбовым экспериментом по критерию распределения Стьюдента

Тип снаряда	t при расчетах по LS-DYNA	Квантиль распределения Стьюдента $t_{m-1, \alpha/2}$	Вывод
ЗБМ 26	0,011	$t_{33,05} = 1,69241$	Не различимы
ЗБМ 42	0,168	$t_{33,05} = 1,69241$	Не различимы
ЗБК 18	1,673	$t_{33,05} = 1,69241$	Не различимы
ЗОФ26	0,890	$t_{32,05} = 1,69389$	Не различимы

Проверка соответствия выборочных дисперсий критерию Фишера (табл. 4).

Если $F = \max\left(\frac{\sigma_p}{\sigma_{np}}, \frac{\sigma_{np}}{\sigma_p}\right) \leq F_{m-1, m-1, \alpha}$, то результаты статически неразличимы,

где F – статистика закона Фишера;

$F_{m-1, m-1, \alpha}$ – квантиль закона Фишера с уровнем значимости α .

Таблица 4

Сравнение результатов со стрельбовым экспериментом по критерию распределения Фишера

Тип снаряда	F при расчетах по LS-DYNA	Квантиль распределения Фишера $F_{m-1, m-1, \alpha}$	Вывод
ЗБМ 26	$F = \max(0.774; 1.292)$ $F =$	$F_{33, 33, 0.1} = 1,57669$	Не различимы
ЗБМ 42	$F = \max(0.806; 1.241)$ $F = 1.241$	$F_{33, 33, 0.1} = 1,57669$	Не различимы
ЗБК 18	$F = \max(0.796; 1.256)$ $F = 1.256$	$F_{33, 33, 0.1} = 1,57669$	Не различимы
ЗОФ26	$F = \max(1.014; 0.986)$ $F =$	$F_{32, 32, 0.1} = 1,58666$	Не различимы

Методическая ошибка расчета индивидуальных углов вылета снарядов с использованием программного комплекса LS-DYNA оценивается величиной $\Delta\theta_m = 0,08...0,11$ мрад (срединное отклонение) для разных типов снарядов.

Разработанная методика обеспечивает широкие возможности расчетного анализа при проектировании новых изделий артиллерийского комплекса, использующих новые конструктивные решения. В ней реализованы возможности пространственного представления конструктивной схемы, обеспечивающие одновременный учет всех видов колебаний, а также учет упругих и демпфирующих свойств конструкции. Методика позволяет расширять состав учитываемых факторов по результатам эксперимента без коренной переделки модели за счет привлечения дополнительного объема исходной информации.

Разработанная методика позволяет выполнять весь класс расчетов, связанных с определением динамики поведения ствола и снаряда в процессе выстрела, нагрузок, параметров меткости и кучности стрельбы для динамически уравновешенных, динамически не уравновешенных и нарезных пушек, снарядов с высокой и невысокой начальной скоростью, типовых артиллерийских орудий и высокоскорострельных автоматических пушек.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

N. Sh. Malikov¹, V. Ef. Slutsky²

**3D MODEL FOR RESEARCH ON INTERACTION DYNAMICS WITHING
“GUN-TUBE-SHOT” SYSTEM FOR THE SHOOTING ACCURACY TASKS SOLUTION**

Joint Stock Company “Central Research Institute “Burevestnik”¹,
Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alexeev²

This article describes the methods for the task of 3D setting up of a shell jump angle applicable to smoothbore and rifled tubes in a wide range of initial shell speeds, fulfilled by means of LS DYNA software package. Actual calculation results are given and confirmed by experimental data.

Key words: dynamics, LS DYNA software package, finite elements, tube, axes, nonlinearity, rifling grooves.

УДК 65.011.56

Е.А. Гаврилюк¹, С.А. Манцеров², С.Г. Синичкин²**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИМИ АГРЕГАТАМИ**Филиал ОАО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» - Инженерно-технический центр¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева²

Приведена методика оценки технического состояния сложных программно-технических объектов, на примере систем автоматического управления (САУ) газоперекачивающими агрегатами (ГПА). Статья посвящена исследованию методологии расчёта и возможности применения универсального количественного показателя – индекса технического состояния (ИТС) для задач диагностики и прогнозирования.

Ключевые слова: индекс технического состояния (ИТС), оценка технического состояния, система автоматического управления, газоперекачивающий агрегат, диагностирование, прогнозирование.

Как известно, основным способом транспорта газа является трубопроводный. Для поддержания заданного расхода транспортируемого газа путем повышения давления (компримирования) через определенные расстояния вдоль трассы газопровода устанавливаются компрессорные станции (КС).

Повышение давления газа на выходе КС осуществляется с помощью газоперекачивающих агрегатов (ГПА). ГПА является ключевым элементом всей газотранспортной системы, поэтому роль управления, диагностирования, контроля и защиты ГПА возложена на систему автоматического управления (САУ).

Стабильность всей газотранспортной системы (ГТС) напрямую зависит от надёжности и безопасности работы газоперекачивающего оборудования и систем их управления. Для оценки надёжности ГТС необходим системный, комплексный подход, рассматривающий надёжность всех элементов системы.

Представляется проект методики оценки технического состояния оборудования САУ ГПА. Оценка технического состояния основывается на системе показателей, конфигурация которой связана со структурой оборудования. Для расчета этих показателей используются разнородные данные как объективного (инструментального), так и субъективного (результаты осмотров, инспекций, экспертных оценок состояния) контроля. На основе данной информации формируется единая база данных, служащая платформой для комплексной оценки состояния, которая учитывает влияние разнородных параметров и различных структурных единиц на оборудование в целом.

Количественной оценкой технического состояния оборудования является безразмерная числовая величина, которая называется Индексом технического состояния (ИТС) и получается в результате выполнения определенного алгоритма. Величина ИТС характеризует состояние объекта с точки зрения соответствия его параметров нормативным значениям с учетом значимости (веса) каждого параметра.

Параметром является паспортная характеристика оборудования или характеристика, получаемая в результате диагностики или осмотра оборудования. Для того чтобы получить безразмерный ИТС, количественные и качественные значения параметров переводятся в целочисленные дискретные значения, отражающие степень соответствия параметра его номиналу.

Оценка технического состояния оборудования включает в себя несколько этапов, представленных в виде схемы (рис. 1).

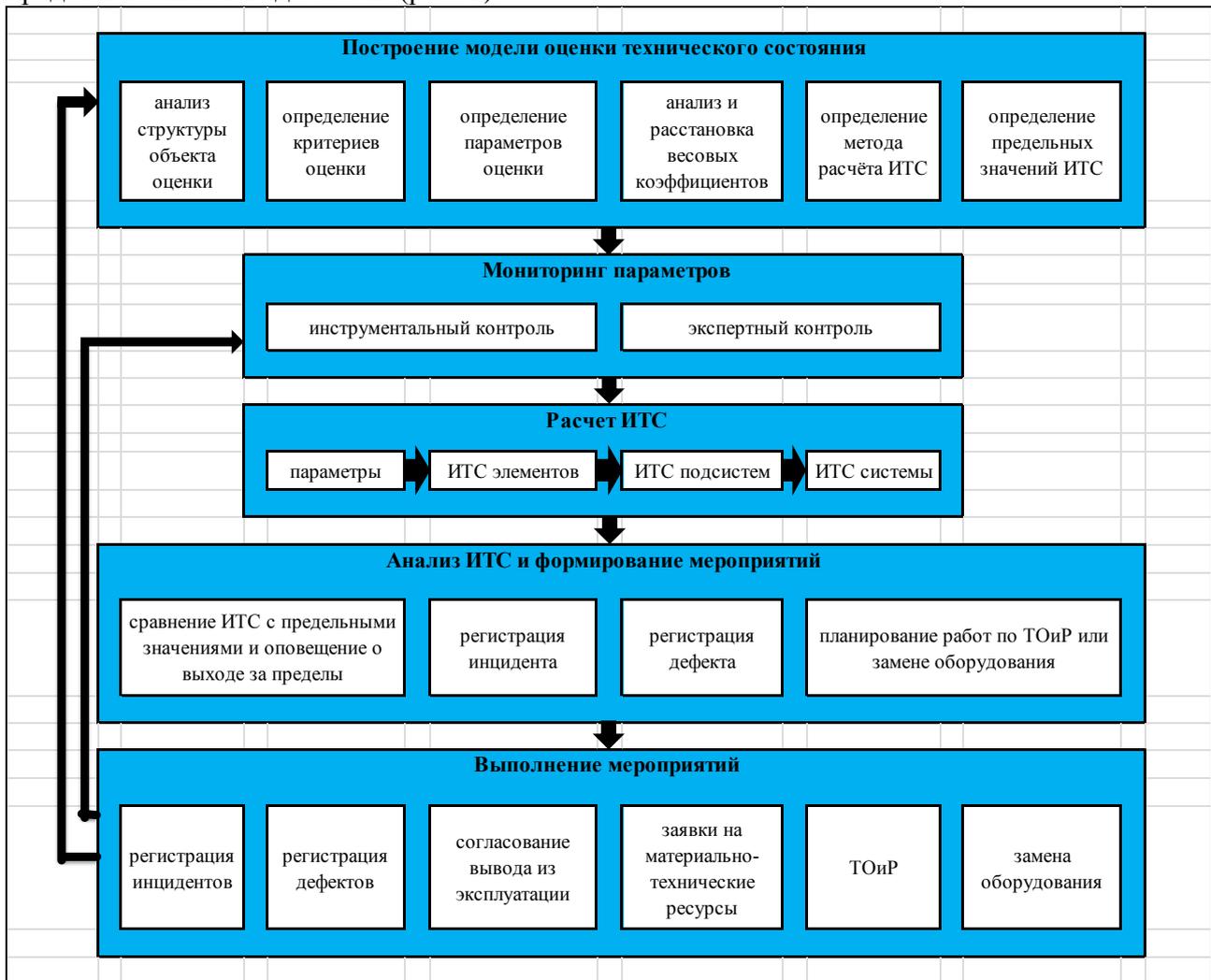


Рис. 1. Этапы оценки технического состояния

Построение модели является опорным, наиболее ответственным этапом. На рис. 2 показан пример структурирования САУ ГПА и составляющие ИТС.

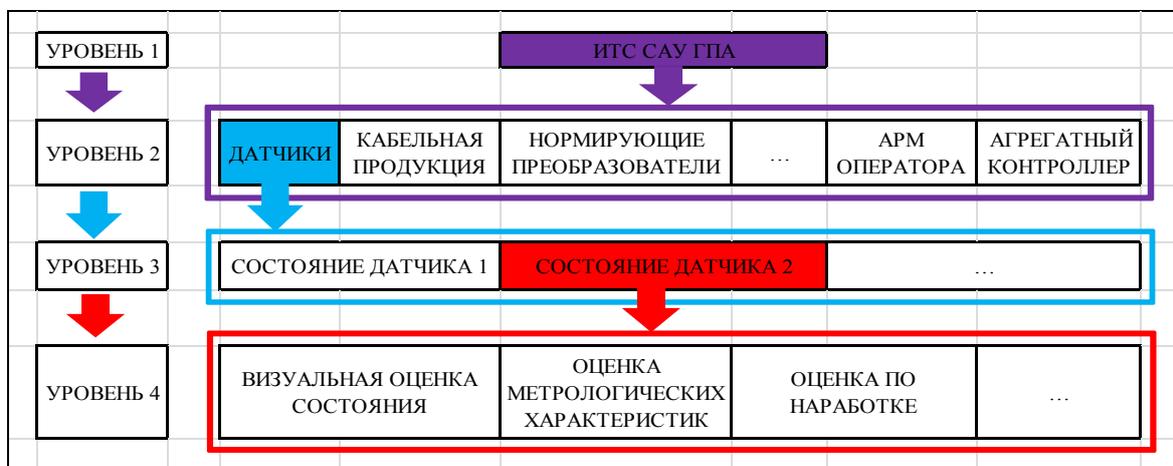


Рис. 2. Составляющие ИТС САУ ГПА

ИТС всей САУ ГПА (уровень 1) определяется по совокупности ИТС уровня 2, который представляет собой перечень выделенных подсистем, влияющих на состояние САУ ГПА. В свою очередь, ИТС второго уровня определяются по критериям (уровень 3), влияние которых на состояние каждой подсистемы учитывается весовыми коэффициентами. Критерии рассчитываются на основе параметров (уровень 4), с помощью которых оценивается состояние того или иного элемента. Для расчета одного критерия может использоваться как один, так и несколько параметров. Следует отметить, что можно ограничиться лишь тремя уровнями структурирования, исключив разбиение САУ ГПА на подсистемы.

В отличие от объекта оценки, описанного в работе [1], одними из основных элементов САУ ГПА являются программные средства (основное и вспомогательное ПО), которые, бесспорно, оказывают влияние на техническое состояние САУ. Эти элементы также возможно и необходимо включить в структуру САУ ГПА и расчет ИТС вести с учётом этих программных составляющих. В этом случае вполне рациональным становится применение существующих универсальных методов оценки технического состояния ПО.

Шкала (интервал) ИТС формируется на основании экспертных оценок и включает граничные значения для анализа ИТС. Наиболее удобной представляется 100-балльная шкала, где 100 - наилучшее соответствие номиналу, 0 - наихудшее. В соответствии с этой шкалой определяется техническое состояние и, соответственно, её надежность как элемента системы, так и системы в целом.

Для различных значений ИТС, попадающих в тот или иной интервал, разрабатываются типовые оповещения, рекомендации и мероприятия.

Для расчета ИТС всего объекта (САУ ГПА), как описано в работе [1], можно применить соотношения вычисления средневзвешенного значения по всем составляющим:

$$I_1 = \frac{\sum_i p_{2i} I_{2i}}{\sum_i p_{2i}},$$

$$I_2 = \frac{\sum_i p_{3i} I_{3i}}{\sum_i p_{3i}},$$

$$I_3 = \frac{\sum_i p_{4i} I_{4i}}{\sum_i p_{4i}}.$$

где I_1 – ИТС системы,
 I_2 – ИТС подсистем,
 I_3 – ИТС критериев,
 p_{2i} – вес ИТС i -й подсистемы,
 p_{3i} – вес ИТС i -го критерия,
 p_{4i} – вес i -того параметра,
 I_{2i} – ИТС i -й подсистемы,
 I_{3i} – ИТС i -го критерия,
 I_{4i} – оценка (значение) i -го параметра.

Для примера рассмотрим две системы, состоящие из трёх элементов и имеющие ИТС, отражённые в табл. 1, влияние весовых коэффициентов примем одинаковыми и равными единице.

Таблица 1

Пример ИТС двух систем

	Вариант 1	Вариант 2
ИТС элемента 1	80	54
ИТС элемента 2	80	51
ИТС элемента 3	26	57
ИТС системы	62	54

Из табл. 1 видно, что система 1 имеет достаточно высокий общий ИТС при наличии в её составе откровенно «слабого» элемента («узкого места»). Кроме этого, её общий ИТС больше, чем у системы 2, которая не содержит подобной «слабости».

Таким образом, мы наблюдаем пример искажения действительного технического состояния как для отдельно взятого объекта, так и при сравнительном анализе нескольких объектов. Становится очевидным необходимость существенной доработки (введения дополнительных условий) метода расчёта ИТС, чтобы исключить подобного рода частные случаи.

Результатом расчёта ИТС всей системы является определение её состояния в целом, а также критериев, влияющих на состояние оборудования в большей степени. Все рассчитанные ИТС заносятся в общую базу данных для проведения анализа и разработки соответствующих мероприятий в зависимости от значения ИТС. После чего продолжается мониторинг параметров, осуществляется перерасчет ИТС и, тем самым, корректируется модель оценки технического состояния.

Основным преимуществом вышеописанной методике является её универсальность в применении к различным объектам. ИТС является понятным для широкого круга показателей технического состояния объекта, которым легко могут оперировать в своей работе даже неспециалисты (например, экономисты, менеджеры). Другим преимуществом комплексной оценки технического состояния САУ ГПА является информационная поддержка принятия решения, направленных на снижение рисков отказов оборудования ГТС. Очевидно, что реализация вышеописанной методики требует обработки и анализа большого объема данных, что в дальнейшем подразумевает создание автоматизированной информационной системы.

Библиографический список

1. **Кубрин, С.С.** Комплексная оценка технического состояния оборудования на предприятии подземной добычи угля / С.С. Кубрин, А.И. Сукманов // Российский научно-технический журнал MEGATECH Новые технологии в промышленной диагностике и безопасности.– 2012. №3. С. 24–28.
2. **Манцеров, С.А.** Мониторинг состояния объектов на основе методов функциональной систематики // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева Современные проблемы механики и автоматизации в машиностроении и на транспорте. – Н. Новгород, 2008. Т.67. С. 23–27.
3. **Манцеров, С.А.** Создание баз данных объектов машиностроения на основе формул функциональной систематики // Вестник ВГТУ. – Воронеж. 2007. Т. 3. №11. С. 171–176.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

E. A. Gavrilyuk¹, S. A. Mantserov², S. G. Sinichkin²

THE METHODS OF EVALUATION OF TECHNICAL CONDITION OF AUTOMATIC SYSTEMS OF GAS COMPRESSOR UNITS OPERATIONAL CONTROL

Branch of OAO “Gazprom transgaz Nizhny Novgorod” – Technical engineering centre¹,
Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alexeev²

The methods of evaluation of technical condition of complex engineering software objects through the example of automatic systems of gas compressor units control. The article is devoted to studies of the methods of calculation and applicability of a universal quantitative measure – the technical condition index – for diagnostics and forecasting.

Key words: technical condition index, technical condition evaluation, automatic control system, gas compressor unit, diagnostics, forecasting.

УДК 681.5

А.М. Щекин, Е.А. Куликова

**ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ СОЗДАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЕТАЛИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается программный модуль, предназначенный для создания информационной модели детали типа «тело вращения», которая в последующем может быть использована при автоматизированном проектировании маршрута обработки на основе метода синтеза технологических процессов. В качестве первичной геометрической информации для создания алгоритма описания конструкторско-технологических свойств детали принята ее модель, создаваемая в среде «Автокад». Приведены последовательность и результаты работы предлагаемой программы для формализованной подготовки исходных данных о детали.

Ключевые слова: автоматизация проектирования, программа, классификация поверхностей, геометрические и точностные параметры

В настоящее время в области формализации и математического моделирования технологических процессов имеются значительные научные результаты. Однако большинство САПР технологического проектирования построены на принципе использования аналогов технологических процессов, каждый из которых предназначен для изготовления определенного типа деталей.

Данный метод автоматизированного проектирования зачастую не может позволить учесть особенности вновь поступающих в производство изделий и требует участия технолога в режиме диалога. Перспективным направлением для повышения производительности и качества проектирования технологических процессов является метод синтеза структуры маршрута обработки. Реализация данного метода требует подробного описания конструктивных, геометрических и точностных характеристик детали, то есть создание ее информационной модели.

Однако подготовка исходной информации остается плохо формализованной. Чаще всего данная информация представляется в виде таблиц кодированных сведений, в которых каждому признаку присваивается определенный код. При заполнении данных таблиц от проектировщика требуется выполнить достаточно трудоемкую и в тоже время рутинную работу по преобразованию исходной информации (чертежа детали) в ее формализованное описание.

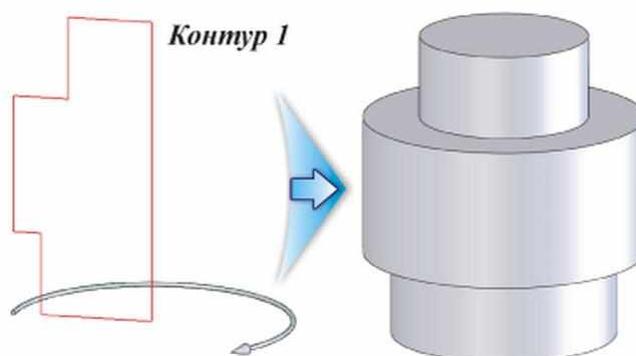


Рис. 1. Образование детали типа «тело вращения»

В связи с чем актуальным является разработка метода для начального этапа проектирования, в котором подготовка исходных данных позволяет максимально уменьшить «ручное» кодирование конструкторских, технологических и геометрических характеристик детали.

Предлагаемый метод реализован для деталей типа «тел вращения» с использованием среды AutoCAD, создание чертежей в которой происходит по принципу координатного построения. За основу взят способ образования цилиндрических деталей вращением исходного контура вокруг оси на 360° (рис. 1).

Каждой точке на чертеже соответствуют свои координаты, характеризующие ее положение в координатной плоскости. Следовательно, для описания геометрических параметров детали достаточно снять координаты узловых точек, из которых состоит контур. Для построения геометрической модели детали создается исходный контур, вращением которого получается заданная деталь. Каждая узловая точка номеруется в определенной последовательности (рис. 2).

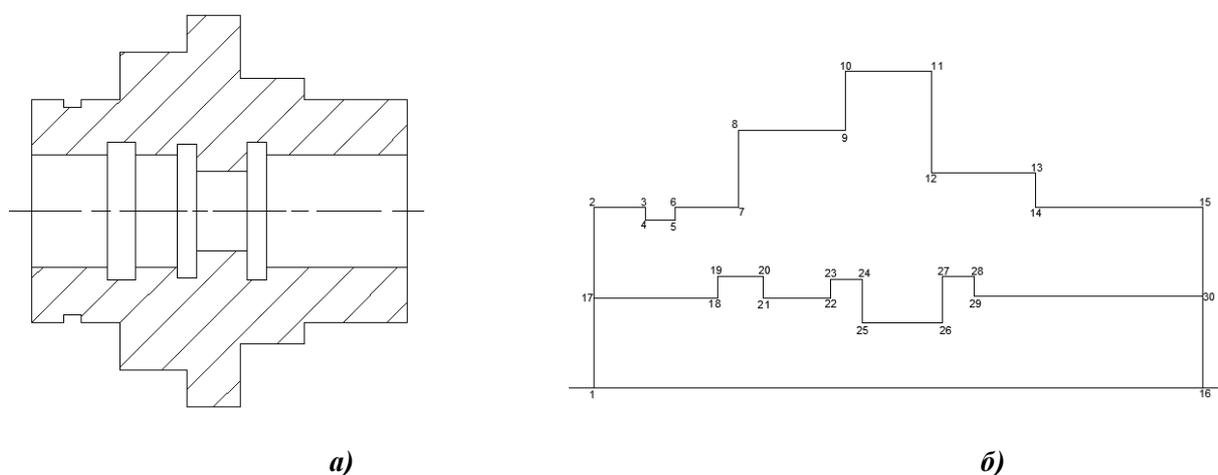


Рис. 2. Подготовка начальных данных:

a - заданная деталь; *б* - созданный исходный контур с пронумерованными узловыми точками

Первой точкой, характеризующей начало цилиндрической поверхности, задается код: первые две цифры после запятой означают точность обработки поверхности *IT*, следующие три цифры шероховатость *Ra*, мкм (рис. 3). Данные характеристики при желании могут быть также введены в соответствующую таблицу в диалоговом режиме (рис. 9).

IT		Ra		
X	X	X	X	X
1	2	3	4	5

1.12125

2.11008

Пятая цифра после точки должна быть значащей.

Точка 1- *IT*=12, *Ra*=12,5

Точка 2- *IT*=11, *Ra*=00,8=0,8-Наличие отделки

Рис. 3. Расшифровка кода

С помощью приложения Geo_Export_v2_9, все координаты узловых точек экспортируются в текстовый файл (рис.4).

Каждому отрезку соответствуют две координаты (начало и конец). По мере прохождения поля, в котором находится исходный контур, программа может считать одну точку до три-четыре раз, в соответствии с внутренними настройками.

Для обработки исходной информации и дальнейшей обработки характеристик детали разработана программа RGX-4 в среде C++. Программа считывает из файла все экспортированные в него из AutoCAD пронумерованные узловые точки, сортирует в порядке возрастания с соответствующими им координатами X и Y и повторяющиеся удаляет (рис. 5).

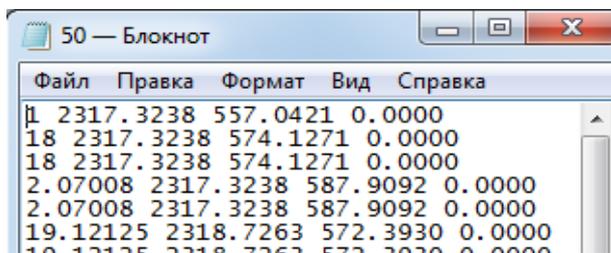


Рис. 4. Экспортированные узловые точки с координатами



Рис. 5. Первичный анализ и корректировка исходных данных

На основе первичной информации, программа выполняет заложенные необходимые пользователю расчеты, состав которых при необходимости можно расширить. Как пример, приведен расчет массы детали, расчет выбора заготовки с пояснениями, расчет на жесткость с рекомендуемой схемой установки (рис. 6).

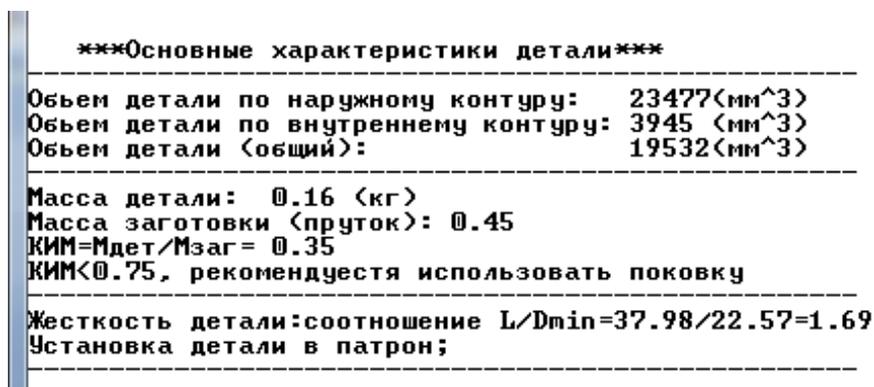


Рис. 6. Пример возможных результатов расчетов

Следующим шагом является автоматическая классификация поверхностей, из кото-

рых состоит деталь, по виду и определение их состава. Результаты классификации поверхностей сводятся в таблицу (рис. 7).

Поверхности детали					
Поверхность:	Цилиндрич.	П	Конические	Фаски	Канавки
Внешняя:	6	6	0	0	1
Внутренняя:	4	2	0	0	3
Всего:	10	8	0	0	4 <22>

Рис. 7. Состав поверхностей детали

Каждой поверхности присваивается свой номер (столбец 1) и код, по которому поверхность относится к конкретному виду (столбец 2), рассчитываются ее геометрические характеристики, указывается вид (столбцы 5-7).

Таблица поверхностей									
Номер	Код	Точ.1	Точ.2	Di, мм	Li, мм	Lu, мм	IT	Ra, мкм	Пов-ть
1	2	1	2	0	11.29	11.29	0	0	Торец
2	1	2	3	22.57	3.21	0	0	0	НЦП
3	5.2	3	4	0	0.78	10.51	0	0	Канавка
4	5.1	4	5	21.02	1.84	0	0	0	
5	5.2	5	6	0	0.78	11.29	0	0	
4	1	6	7	22.57	3.93	0	0	0	НЦП
5	2	7	8	0	4.82	16.1	0	0	Торец
6	1	8	9	32.2	6.71	0	0	0	НЦП
7						19.84	0	0	Торец

Рис. 8. Вывод характеристик поверхностей детали

Дополнительная информация вводится в диалоговом режиме отдельно по цилиндрическим и торцовым поверхностям (рис. 9). В качестве дополнительной информации могут быть введены требования по допускам формы и расположения, а также наличие термообработки или другие технические требования.

Цилиндрические поверхности									
Пов-ть	Номер	Di, мм	Li, мм	IT	Ra, мкм				
1>НЦП	2	22.57	3.21	0	0	0	0	0	0
2>НЦП	4	22.57	3.93	0	0	0	0	0	0
3>НЦП	6	32.2	6.71	0	0	0	0	0	0

а)

Торцевые поверхности									
Пов-ть	Номер	Li, мм	Lu, мм						
П	1	11.29	11.29	0	0	0	0	0	0
П	5	4.82	16.1	0	0	0	0	0	0
П	7	3.74	19.84	0	0	0	0	0	0

б)

Рис. 9. Диалоговое окно ввода характеристик поверхностей:

a – таблица ввода характеристик цилиндрических поверхностей;

b – таблица ввода характеристик торцовых поверхностей

Выводы

В статье рассмотрен метод подготовки исходной информации для последующего автоматизированного проектирования технологических процессов обработки деталей типа тел вращения, который позволяет исключить «ручное» кодирование сведений о деталях, обеспечивает автоматическую классификацию поверхностей, распознавание их взаимного расположения, геометрических характеристик, а также формирование общих сведений о детали. За счет применения данного метода можно значительно сократить время на подготовку исходной информации о детали, необходимой для последующего синтеза маршрута обработки.

1. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов: учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. II / В.А. Горохов, А. [и др.]; под ред. В.А. Горохова. – Старый Оскол: ТНТ, 2001. – 576 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A. M. Schyekin, E. A. Kulikova

SOFTWARE MODULE FOR PRODUCT INFORMATION MODEL CREATION

Nizhny novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

This article deals with a software module designed for creation of an information model of a product (work-piece) of “body of rotation” type. This model can consequently be used in the process of automatic manufacturing route design basing on the technological processes synthesis method. The model of a piece set in AUTOCAD environment is used as initial geometric information for establishing an algorithm to describe the product design and engineering properties. The sequence and the results of the suggested programme operation are provided to prepare a formal initial data of the product (piece) properties.

Key words: automation of design process, programme (software), surfaces classification, geometrical and accuracy parameters.

УДК 681.5

А.М. Щекин, Е.А.Куликова, А.Н. Кочин

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приведен сравнительный анализ методов расчета рычажных механизмов станочных приспособлений. Дано описание программы для оптимизации параметров механизма закрепления. Рассмотрено влияние изменений конструкций рычажных механизмов на характеристики привода приспособлений.

Ключевые слова: рычажный механизм, силы закрепления, методы расчета, оптимизация параметров

Использование в большинстве конструкций станочных приспособлений в качестве зажимных устройств рычагов позволяет при относительной простоте получить выигрыш в силе, обеспечить постоянство усилия зажима, осуществлять закрепление в труднодоступных местах.

Применительно к технологической оснастке одной из задач является обеспечение минимальных габаритов приспособления, а это вызывает необходимость поиска такой конструкции рычажного механизма, которая может быть использована в требуемой схеме закрепления и при которой уравнивающая сила будет минимальной. Все это требует больших пересчетов параметров, характеризующих рычаг как звено цепи тех элементов, из которых состоит приспособление (длина плеч, тип конструкции) и тех параметров, которые относятся к обеспечению функционирования данного механизма (площадь поперечного сечения, способная выдержать требуемую нагрузку, минимальный диаметр оси и штока с помощью которого передается усилие и т.д.)

Исходными данными для проектирования зажимного механизма является схема зажима и требуемая сила закрепления детали.

Для определения усилия, которое обеспечивает требуемую силу закрепления, можно воспользоваться тремя методами.

Геометрический метод определения исходного усилия заключается в продлении линий действий сил, до точки их пересечения, с параллельным переносом в соответствующем масштабе для построения треугольника сил (рис. 1).

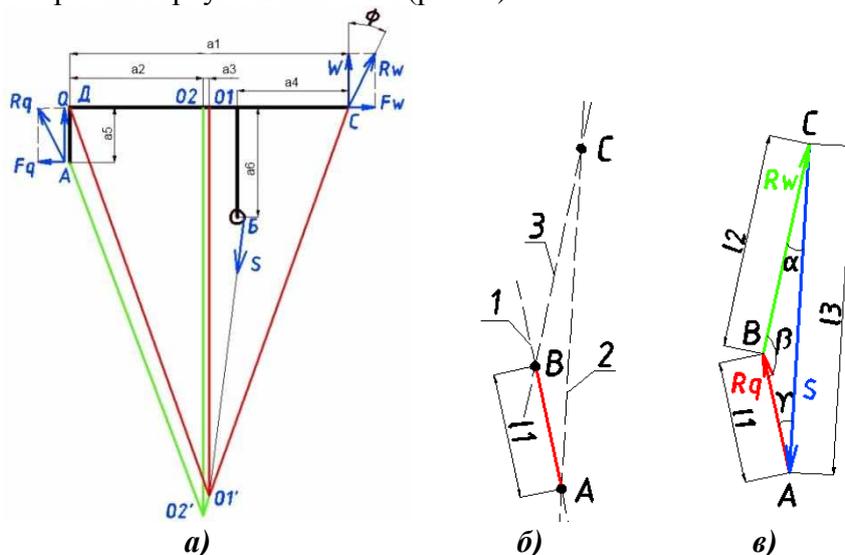


Рис. 1. Геометрический метод:

a - силы, действующие на рычаг; *б* - построение в масштабе реакции *Rq*;
в - треугольник сил

Математический метод заключается в составлении уравнений прямых с целью нахождения координаты точки пересечения линий действия сил, для определения углов, характеризующих соотношение между силами, действующими на рычажный механизм.

Первые два метода основаны на том, что все силы, действующие на механизм, находящийся в состоянии покоя, сходятся в одну точку: мгновенный центр сил, действующих на деталь, образуя замкнутый многоугольник сил, который можно свести к треугольнику сил.

Однако данные методы нельзя использовать при многократном пересчете, так как они завязаны с определенной схемой механизма и определенными размерными параметрами. В случае изменения размеров, что часто случается в процессе проектирования, перерасчет приходится проводить заново.

Отличительной особенностью расчета рычажного механизма физическим способом является более точное описание воздействий и, как следствие, всех реакций, действующих на рычажный механизм (что при традиционных расчетах не делается), возможность производить перерасчет искомых величин, изменяя параметры и конструкцию рычажного механизма.

На рис. 3 - 11, 12, 13, 14, 15, ϕ - параметры, характеризующие геометрию рычага (15-аналогично 11, перпендикулярно плечу 13); O_1, O_2, O_3, O_4, O_5 и С-координаты центров масс всех составляющих рычажный механизм элементов и центр масс всей конструкции соответственно; Q, R, W -реакции, возникающие в рычажном механизме.

Конструкция рычажного механизма, представленная на рис. 1, может изменять свой вид, путем добавления или вычитания плеч 11, 15, 14.

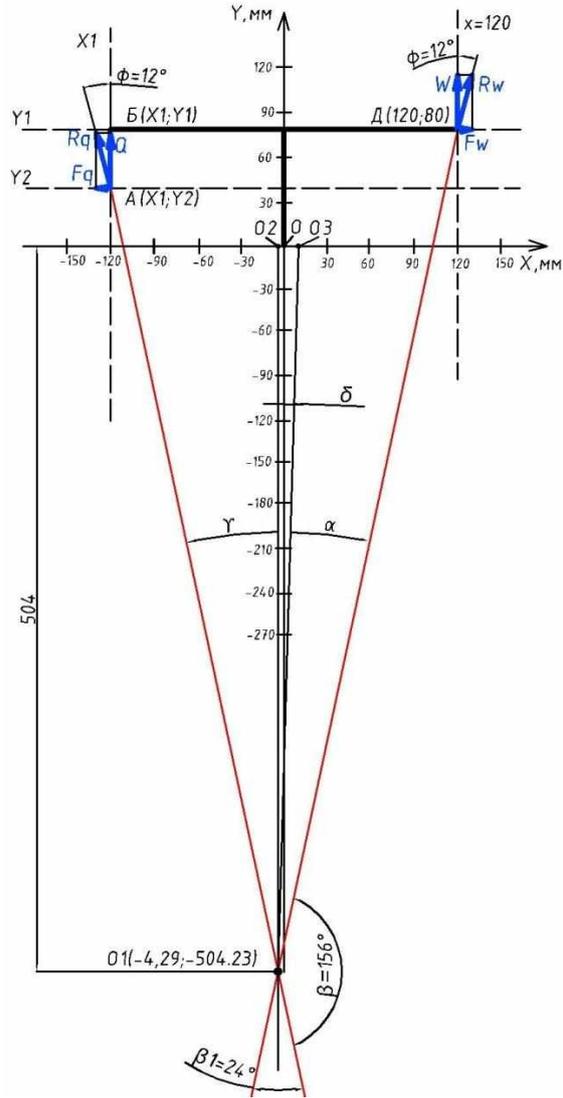


Рис. 2. Математический метод

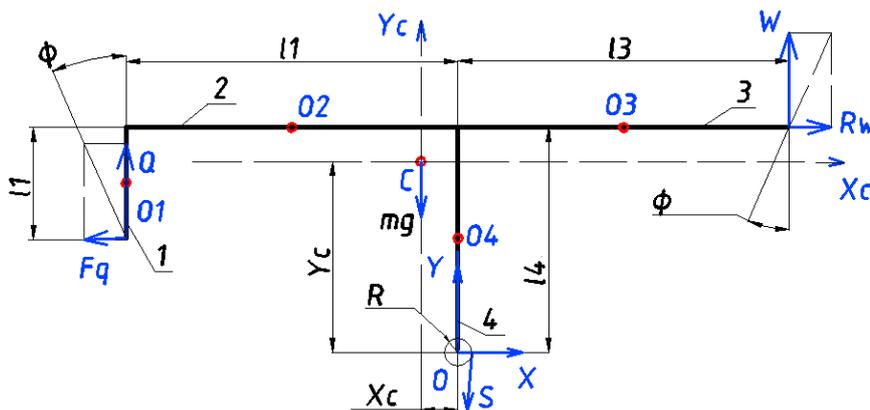


Рис. 3. Физический метод

В процессе эксплуатации станочных приспособлений нередко используются и усложненные углом наклона плеч рычажные механизмы.

Схемы сил, действующих на рычаги, расположенные под углом, показаны на рис. 4 и рис. 5.

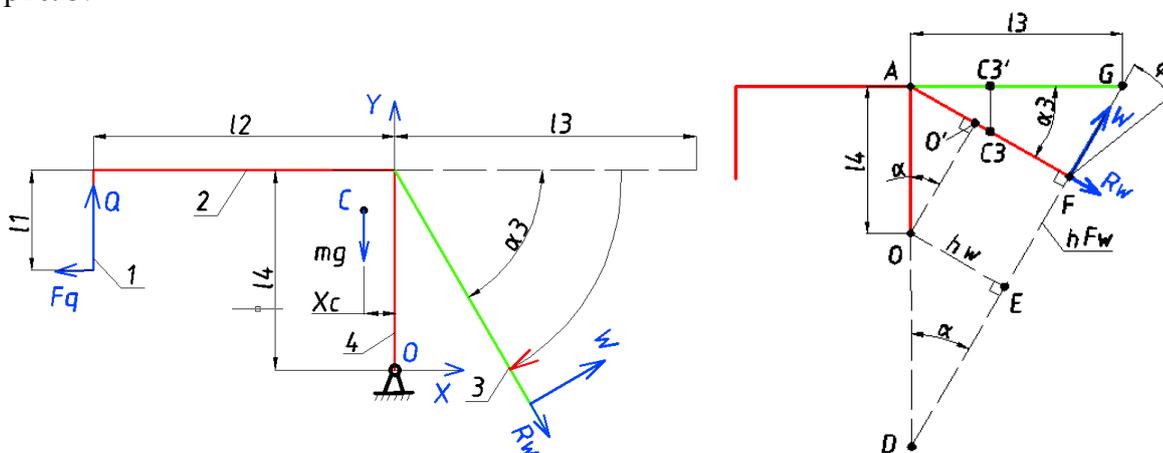


Рис. 4. Введение угла α_2

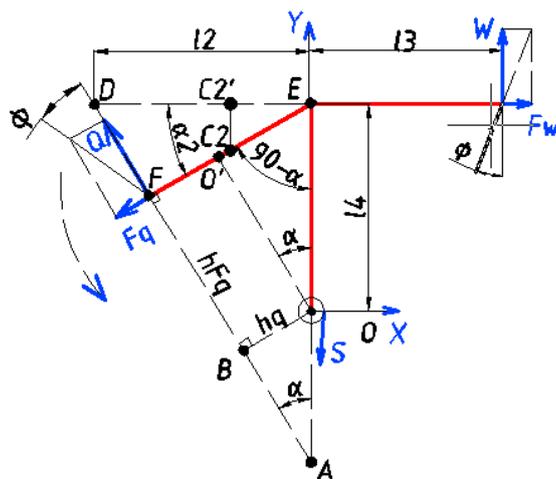


Рис. 5. Введение угла α_3

Искомыми величинами в случае многократного перерасчета изменяемых параметров рычажного механизма, которыми являются $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, \alpha_2, \alpha_3$, будут являться: исходное усилие W , необходимое для обеспечения требуемой силы закрепления детали усилие Q ; нагрузка, действующая на ось рычага S ; минимальный диаметр оси, выдерживающий нагрузку S ; приблизительная масса рычага M ; минимальное поперечное сечение рычага, при котором он способен выдержать, действующую на него нагрузку; минимальный диаметр штока, передающего рычагу нагрузку от пневмоцилиндра; необходимый диаметр пневмоцилиндра, для обеспечения требуемого исходного усилия, который и будет выбран за критерий оптимальности, влияющий на габариты приспособления.

Изменение параметров рычажного механизма влечет за собой целую цепочку перерасчетов это занимает много времени и является весьма трудоемким процессом.

Для облегчения поиска оптимальной конструкции и геометрии рычажного механизма была разработана программа RM-4, на языке C++.

Данная программа дополнена информацией по выбору коэффициента трения, расчетом силы закрепления детали типа тела вращения рычажным механизмом, расчетом коэффициента запаса.

Расчет можно вести как с конкретными значениями, так и в диапазоне значений одного из параметров, задав пределы его изменения.

```

***РАСЧЕТ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА***
Параметры  11  12  13  14  15  <НЕТ>  Инструкция
Номер      -1-  -2-  -3-  -4-  -5-  -0-    -6-
Введите номер изменяемого параметра:
2
Введите начальное значение 12, <мм>
100
Введите конечное значение 12, <мм>
200
Введите в миллиметрах 11, 13 ,14 ,15
10
100
80
0
Введите градусы ALF2 ,ALF3
23
5
Сила закрепления Q<Н>=
8000
Коэффициент трения
0.2
W, <Н>-Исходное усилие
M, <кг>-Масса рычага
b, <мм>-Поперечное сечение рычага
SO, <Н>-Нагрузка на ось
D0, <мм>-min диаметр оси
Dsh, <мм>-min диаметр штока
D<мм>-Диаметр пневмоцилиндра, при давлении p=0.4<МПа>

12, <мм>  W, <Н>  M, <кг>  b, <мм>  SO, <Н>  D0, <мм>  Dsh, <мм>  D, <мм>  D<1МПа>
100      7658  1.81  19    15658  15      7      163    103
110      8848  2.05  20    16848  16      8      175    111
120      10038  2.3   21    18038  16      8      187    118
130      11229  2.55  22    19229  17      8      197    125
140      12420  2.8   22    20420  18      9      207    131
150      13611  3.05  23    21611  18      9      217    138
160      14802  3.31  24    22802  18      10     226    143
170      15993  3.58  24    23993  19      10     235    149
180      17184  3.85  25    25184  19      10     244    154
190      18376  4.12  26    26376  20      11     252    160
200      19567  4.4   26    27567  20      11     260    165
    
```

Рис. 6. Результаты расчета искомых величин

Из рис. 6 видно, как с изменением одного из параметров рычажного механизма диаметр пневмоцилиндра меняется в габаритах: от 260 до 103 мм в диаметре.

Графики изменения искомых параметров в зависимости от величины угла α_3 представлены на рис. 7 и рис. 8. Полученные данные приведены при изменении угла α_3 от 0^0 до 60^0 .

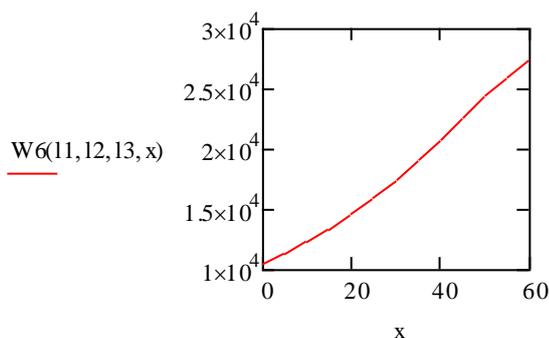


Рис. 7. График изменения силы W (Н) при угле наклона плеча 3 от 0^0 до 60^0

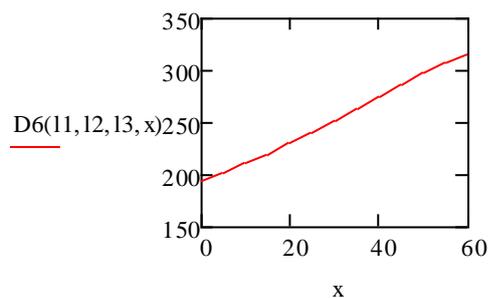


Рис. 8. График изменения D (мм), при угле наклона плеча 3 от 0^0 до 60^0

Выводы

В статье рассмотрены методы расчета рычажного механизма, которыми можно воспользоваться при определении усилия, необходимого для обеспечения требуемой силы закрепления. Анализ данных методов показал, что наиболее подходящим, позволяющим производить перерасчет всех необходимых при проектировании величин при изменении параметров и конструкции рычажного механизма, является физический метод. Разработанная с использованием данного метода программа позволяет проводить анализ влияния различных конструкций рычагов на характеристики и параметры станочных приспособлений и выбирать оптимальный по размерам вариант привода.

-
1. **Вардашкин, Б.Н.** Станочные приспособления: справочник. В 2-х т. Т. 1. / Б.Н. Вардашкин, В.В. Данилевский. – М.: Машиностроение, 1984. – 656 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A. M. Schyekin, E. A. Kulikova, A. N. Kochin

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF LEVER MECHANISMS OF MACHINE RETAINING DEVICES

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

A comparative analysis of calculation method of lever mechanisms for machine retaining devices engineering is supplied. A description of the programme for fixing mechanism parameters optimization is given. The effect of a modification of lever mechanisms construction on the drive properties of the retaining devices is studied.

Key words: lever mechanism, retaining pressure, engineering design methods, optimization of parameters.

УДК 623.418

В.В. Стешов

**СТЕНДОВАЯ ОТРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ
ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСТРЕЛА ПНЕВМОТРАНСПОРТНОГО АВТОМАТА
ЗАРЯЖАНИЯ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУДИЯ**

ОАО «ЦНИИ «Буревестник», Нижний Новгород

Исследован процесс транспортирования элементов выстрела пневмотранспортного автомата заряжания артиллерийского орудия. Экспериментально получены параметры надежного транспортирования элементов выстрела.

Ключевые слова: артиллерия, пневмотранспортный автомат заряжания, пневматика.

Ствольная артиллерия на современном этапе является важнейшей составной частью общей системы ракетно-артиллерийского вооружения.

Анализ боевых задач ствольного артвооружения указывает на необходимость создания орудий с полностью автоматизированными процессами подготовки и ведения огня. Это связано, в том числе с необходимостью подготовки первого выстрела в кратчайшее время после получения команды, осуществлением точной стрельбы и быстрой смены позиции для снижения вероятности обнаружения орудия.

Кроме этого, существует необходимость унификации полевого, берегового и корабельного артвооружения, что потребует использования единых либо близких принципов подготовки и ведения огня, базирующихся и на сквозной автоматизации процессов подготовки и ведения огня.

В настоящее время в этом направлении одной из наиболее сложных является задача автоматизации процесса заряжания, в том числе при использовании орудием боеприпасов разного типоразмера.

Требования, предъявляемые к скорострельности и автоматизации всех функций при жестких массогабаритных ограничениях перспективных САО, не представляется возможным выполнить традиционными средствами автоматизации, обеспечивающими транспортирование элементов выстрела посредством промежуточных ведущих звеньев (клучев) непременно требующих возвратные ходы и имеющие довольно сложную конструкцию.

Поэтому создание автомата заряжания необходимых параметров транспортирования как средства автоматизации, позволяющего значительно сократить продолжительность заряжания и при этом упростить конструкцию узлов автомата, является актуальной проблемой, решение которой позволит выйти на качественно новый уровень проектирования артвооружения.

Одним из вариантов решения этой проблемы является применение принципов пневмотранспорта, когда воздействие на элементы выстрела при транспортировании осуществляется непосредственно сжатым воздухом без использования промежуточных ведущих звеньев. Время цикла заряжания при этом значительно сокращается (в 1,5 -2 раза), в том числе за счет исключения реверса досылателя (ввиду его отсутствия), значительно повышается надежность процесса досылки за счет придания снаряду высокой скорости, а также повышается надежность досылающего устройства и уменьшаются его габариты за счет отсутствия движущихся механических элементов.

В настоящее время принципы пневмотранспорта успешно используются в автомате заряжания перспективного САО среднего калибра, но только при досылке снаряда из лотка досылающего устройства в ствол орудия [1]. Досылка модульных метательных зарядов из лотка досылающего устройства, в ствол, операции подачи снаряда и заряда на участке от загрузочного устройство

до лотка досылающего устройства осуществляются традиционным способом с помощью механического ведущего звена (клоца), что не позволяет значительно сократить общее время заряжания.

В связи с этим проводятся работы по созданию пневмотранспортного автомата заряжания, в котором на всех участках перемещение элементов выстрела будет осуществляться с использованием принципов пневмотранспорта.

Для определения принципиальной возможности применения принципов пневмотранспорта и параметров транспортирования элементов выстрела были рассчитаны параметры процессов транспортирования элементов выстрела. Результаты расчетов подтвердили возможность транспортирования элементов выстрела на всех участках от загрузочного устройства до лотка досылающего устройства, согласно временным ограничениям теоретической циклограммы функционирования орудия на каждую операцию.

Также подтверждена возможность пневмотранспортной досылки модульных металлических зарядов из лотка досылающего устройства в камеру ствола. Вызывает сомнение гарантированная досылка последнего модуля партии из нескольких штук ввиду образующегося замкнутого воздушного объема между запоясковой частью снаряда, внутренней боковой поверхностью камерной части ствола и передней поверхностью первого ММЗ, находящегося в камере с одной стороны и недостаточного воздействия сжатым воздухом при досылке последнего модуля с другой стороны.

Для проверки и корректировки результатов расчета были проведены экспериментальные исследования на специально разработанных стендовых установках.

Транспортирование элементов выстрела на участке загрузочное устройство-лоток устройства досылки осуществлялось на стенде пневмотранспорта (рис. 1), состоящем из основания 1, тракта снарядного 2, тракта зарядного 3.

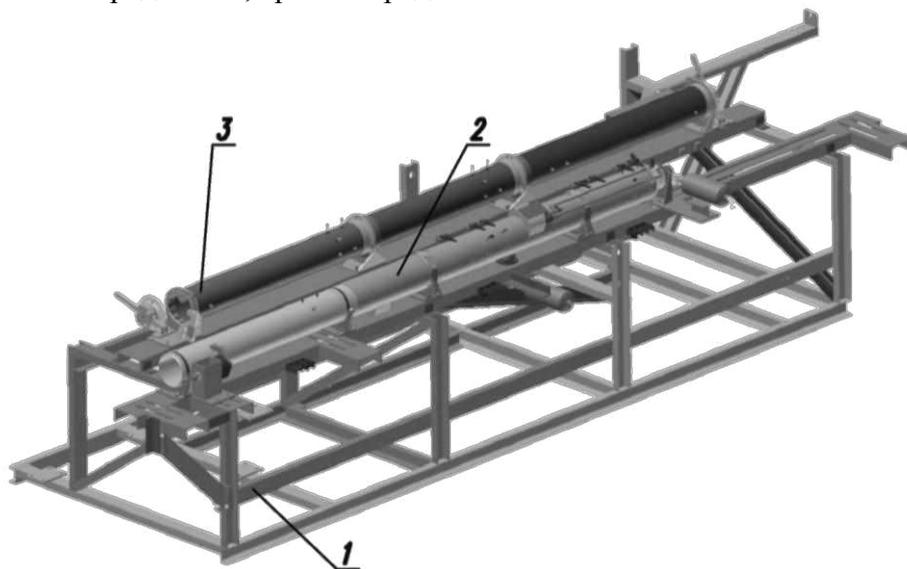


Рис. 1. Стенд пневмотранспорта

Результаты испытаний на стенде пневмотранспорта подтвердили эффективность использования принципов пневмотранспорта.

Транспортирование модулей заряда из лотка устройства досылки в ствол осуществлялось на стенде пневмодосылки модулей заряда (рис. 2), изготовленного на базе стенда пневмодосылки снаряда [1], с заменой макета лотка досылающего устройства снаряда макетом лотка зарядного.

Результаты испытаний на стенде пневмодосылки модулей заряда показали возможность эффективного использования принципов пневмотранспорта.

Система управления пневмоаппаратами стендов построена на базе промышленного контроллера и обеспечивает функционирование согласно их алгоритму работы в изделии.

Стенды оборудованы датчиками давления, датчиками для определения скорости элементов выстрела в характерных местах, а также времени транспортирования элементов выстрела.

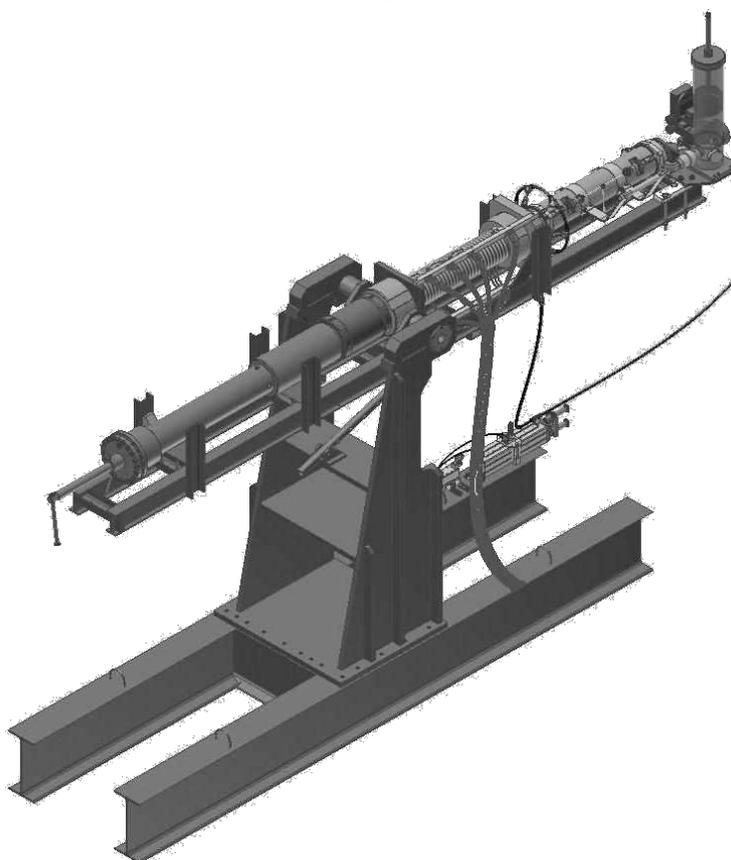


Рис. 2. Стенд пневмодосылки модулей заряда

В результате проведенных исследований удалось получить параметры надежного транспортирования элементов выстрела без повреждения как элементов выстрела, так и элементов конструкции автомата заряжания, удовлетворяющие временным ограничениям теоретической циклограммы работы САО. Полученные результаты используются при разработке пневмотранспортного автомата заряжания.

1. Пат. 2455607, МПК F 41 A 9/37, F 41 A 9/35. Способ заряжания снаряда в камеру ствола орудия и устройство для его осуществления /Закаменных Г.И., Бетенев П.М., Маев С.А., Троицкий А.А., Стешов В.В.; заяв. №2010136632/11; заявл. 31.08.2010; опубл. 10.03.2012 Бюл. №7. – 11 с.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

V.V. Steshov

DEVELOPMENTAL TESTING OF THE PROCESSES OF CONVEYING ARTILLERY ROUND ELEMENTS IN THE PNEUMATIC-TRANSPORTING AUTOMATIC LOADER OF AN ARTILLERY GUN

CRI Burevestnik, JSC, Nizhny Novgorod

The process of transporting artillery round elements in the pneumatic-transporting automatic loader of an artillery gun was investigated. The parameters of reliable round elements conveying were experimentally obtained.

Key words: artillery, pneumatic-transporting automatic loader, pneumatics.

УДК 621-047.38

О.С. Кошелев, С.Ф. Магницкая

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИАГНОСТИКИ МАШИН

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Предлагается достаточно удобный, с точки зрения авторов, алгоритм, позволяющий принимать решения о необходимости диагностирования проектируемых и эксплуатируемых систем.

Ключевые слова: диагностика, алгоритм, долговечность машин, изделие, предметы разового и многоразового использования

Для удовлетворения потребностей человек использует разнообразные предметы (изделия). Как любая система, они имеют свой жизненный цикл: появляются, развиваются, стареют и, в конечном счёте, прекращают своё существование. При определении целесообразного временного промежутка этого процесса возникают два вопроса:

- какова экономически целесообразная продолжительность жизненного цикла изделия в идеале?

- как добиться того, чтобы эта продолжительность соблюдалась?

Для того чтобы ответить на эти вопросы, необходимо знать, для удовлетворения каких потребностей мы используем предмет.

В общем случае все предметы по способу их использования можно разделить на изделия:

1. Разового пользования. Используются один раз, после чего прекращают своё существование (например, еда, питьё и др.) или не могут быть пригодны для дальнейшего использования по другим причинам (например, посуда разового пользования, предметы упаковки и др.). Здесь вопросы потребления сводятся к двум аспектам:

- как сохранить продукт до момента его использования;

- что необходимо сделать для того, чтобы использованный продукт легко утилизировать без больших материальных затрат.

2. Многоразового пользования – изделия, имеющие своей целью удовлетворение либо физических потребностей человека (машины-орудия, энергетические машины и т.п.), либо интеллектуальных потребностей человека (например, компьютеры, книги и т.п.), либо предметы имиджа (ордена, всевозможные знаки отличия и т.п.).

Рациональный срок службы предметов определяет скорость старения предмета. Вопросы потребления сводятся к определению состояния (диагностике) предмета внутри этого срока, параметров, по которым это состояние можно диагностировать, способов определения этих параметров и способов получения изделий, в которых старение происходило бы по желаемому закону для всех деталей. Такие изделия наиболее рациональны с эксплуатационной точки зрения – нет непредвиденных затрат на запчасти и, следовательно, отложенного срока прибыли.

При создании новой продукции следует учитывать такой факт, как изменение требований к долговечности изделия. Раньше существовало убеждение: чем изделие долговечнее, тем оно качественнее, но ведь любая «вечная» вещь для экономики – зло. Поэтому решая вопрос о долговечности, надо определиться с тем, каков должен быть срок службы изделия с точки зрения производства и с точки зрения требований потребителя? Изделие должно служить столько, сколько это необходимо или целесообразно.

Появилось новое научное направление, задача которого определять, от чего зависит ресурс изделия и как сделать, чтобы ресурс использовался полностью за целесообразный срок эксплуатации. При наступлении максимального срока эксплуатации должны выйти из строя всё изделие или большинство его узлов, чтобы не использовались запчасти. Другими

словами, отказ должен происходить строго в определённое время. Называется это *планируемым старением*. Появляются методы исследования, позволяющие определить необходимые и/или целесообразные сроки эксплуатации изделия.

В зависимости от вида и назначения изделий сроки их эксплуатации могут меняться в значительных пределах, и, следовательно, необходимость анализа состояния (диагностики) для некоторых изделий становится проблематичной. Действительно, зачем проводить диагностику изделия, затрачивая на это дополнительные средства, если цена системы диагностики сопоставима со стоимостью предмета, а срок его эксплуатации обеспечивается технологиями изготовления? Если диагностика используется, то какая она должна быть – индивидуальная, групповая, через систему сервиса? Кроме того, при правильном подходе современные наука и техника позволяют старением предмета в процессе его эксплуатации управлять. Важно также знать, к какой из пяти групп, отличающихся видами и сроками старения [1], относится изделие.

Важно понимать, что с формальной точки зрения любая машина-орудие за время своей эксплуатации должна:

- вернуть затраты на её приобретение и обслуживание;
- обеспечить за счёт своей эксплуатации приобретение, если не исчезла потребность, другой машины-орудия того же назначения;
- обеспечить некоторую прибыль на расширение или поддержание действующего производства и улучшение качества жизни людей.

Добиться выполнения этих пунктов можно только за счёт начислений в себестоимость продукции или услуг, производимых на этой машине, и последние должны быть разумными. Например, мы бы захотели выполнить эти требования за счёт эксплуатации самолёта за два года. Ясно, что это невозможно. Цена билета будет слишком большой.

Отсюда следует, что даже такой простейший подход уже требует знания законов старения конкретных изделий и диагностики состояния машины в этот период, если такое требуется, знания целесообразных сроков их эксплуатации, мониторинга (диагностики) рынка, величины потребности и готовности потребителя удовлетворять её, знания особенностей работы и конструкции конкретных систем диагностики.

С экономической точки зрения старением надо управлять однозначно. В ряде случаев это подразумевает установку в систему или использование для группы одинаковых объектов специальных диагностических систем, используемых в процессе эксплуатации изделия, а это дополнительные затраты.

В настоящее время считают что, целесообразно повышать затраты на изготовление и снижать затраты на обеспечение работоспособности (обслуживание) машины. Это позволяет в большей степени удовлетворять потребителя. Однако при увеличении затрат на изготовление новых машин необходимо экономическое и социальное (потребитель идёт или нет на переплату в приобретении нового товара с целью не иметь «проблем» при его эксплуатации) обоснование по рациональному их распределению между указанными факторами (изготовление-эксплуатация). Важно знать, каковы эти соотношения и что выгоднее для снижения себестоимости изделия, получаемого на таких машинах.

Таким образом, обеспечить высокий уровень работоспособности машин возможно только в результате комплексных взаимоувязанных мероприятий при их проектировании, производстве и эксплуатации [2].

С этой целью в основу обеспечения работоспособности зарубежные производители машин закладывают фирменное обслуживание с полной ответственностью изготовителя за их техническое состояние на всём этапе эксплуатации. Для обеспечения этого необходимо знать состояние машины. Это объясняется тем, что обеспечить необходимое качество изготовления и работоспособность на этапе эксплуатации, повысить эффективность использования и конкурентоспособность машины может только тесная прямая и обратная связи между производителем и потребителем техники.

У нас такие связи существуют только в гарантийный период, что, по всей вероятно-

сти, неправильно, поскольку простои машин в период фирменного обслуживания и обслуживания самим потребителем разнятся существенно. Так анализ восстановления работоспособности погрузчиков «Амкодор 332» и «Амкодор 342» в гарантийный период эксплуатации показал, что средняя продолжительность ремонта составила 1,2 сут. и не превышала 2 сут. Продолжительность восстановления работоспособности погрузчиков после гарантийного периода увеличивается в три-пять раз, а при отказе сложных сборочных единиц исчисляется в отдельных случаях месяцами [2].

Основной причиной этого является отсутствие контроля за выполнением правил эксплуатации машин, отсутствие предприятий по ремонту их сборочных единиц, отсутствие современного оборудования и квалифицированных кадров на предприятиях, эксплуатирующих машины. Такое состояние с восстановлением работоспособности машин обеспечивает только 50 % ресурса, задаваемого изготовителем. А простои в капитальных ремонтах превышают нормативные в 5,5 раза, что приводит к снижению рабочего времени в год его проведения до 40 % от среднего значения.

Кроме того, такая практика обеспечения работоспособности сложной техники формирует мнение специалистов о нецелесообразности капитальных ремонтов.

Вместе с тем, опыт эксплуатации, например, строительной техники, показывает, что затраты на капитальный ремонт составляют по машинам 40-60 % и по агрегатам 25-65 % от стоимости новых машин. И это, не считая снижения в два-три раза затрат на материалы и комплектующие при их изготовлении.

Существенный недостаток при производстве сложной техники состоит в том, что выходные параметры, закладываемые в конструкцию машины, рассматриваются без их изменения в процессе эксплуатации. Так, основной выходной параметр в соответствии с функциональным назначением машины - производительность - принимается постоянной за межремонтный период. На самом деле исследования по влиянию наработки с начала эксплуатации на производительность, например, строительных и дорожных машин показали снижение производительности в два-три раза за межремонтный цикл. Снижение производительности сопровождается увеличением затрат на поддержание и восстановление работоспособности машины, что приводит к росту стоимости единицы работ.

Что из этого следует?

1. С увеличением стоимости техники целесообразность капитального ремонта возрастает.
2. Такой ремонт необходимо налаживать на основе межведомственных центров по капитальному ремонту основных сборочных единиц и агрегатов. Это позволит восстанавливать работоспособность машин с ресурсом, близким к новым, и внедрять агрегатный, т.е. экономящий время, метод ремонта на предприятиях по их эксплуатации.

3. Необходимо отслеживать производительность машины с учётом фактических, а не средних затрат на её ремонт.

Всё это подразумевает наличие налаженной системы диагностирования однозначно для сложной и дорогой техники с большим сроком службы. Вопрос не является таким простым для других видов техники, если учесть рекомендуемые периоды и виды их старения.

Далее авторами предлагается принципиальный алгоритм (рис. 1), позволяющий принимать решения на уровне подготовки к созданию системы диагностики для конкретного изделия с учётом высказанных условий.

Процесс начинается с выявления потребности, которых, по мнению Авраама Маслоу [1], пять видов, и выявления предмета, такую потребность удовлетворяющего. Это позволяет ответить на вопрос: какова цена предмета?

После этого нужно ответить на вопросы: в какую группу по видам старения предмет попадает и каков предпочтительный срок его службы?

Затем известным способом проводится анализ совокупных затрат и прибыли от использования предмета. Работа требует мониторинга рынка сбыта, анализа технической до-

кументации, анализа результатов эксплуатации. Последняя операция проводится в том случае, если предмет уже существует.

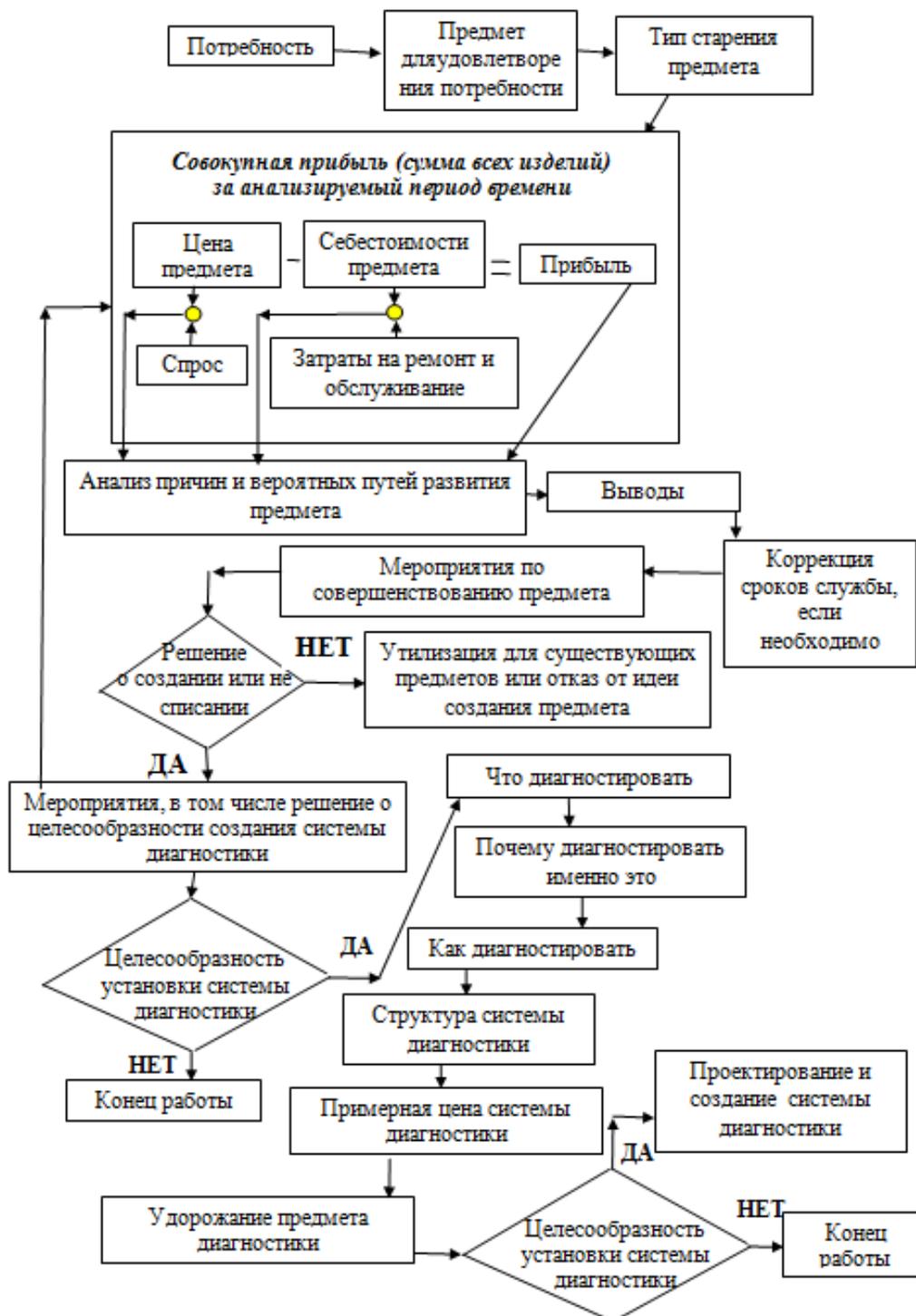


Рис. 1. Алгоритм определения целесообразности построения системы диагностики

По мнению авторов, существо и порядок действий по последующим блокам алгоритма (см. рис.) особых пояснений не требует.

С точки зрения авторов, использование представленного алгоритма позволит в разы уменьшить ошибки при принятии решений о необходимости использования в системе диагностических устройств.

Библиографический список

1. **Кошелев, О.С.** Организация проектирования в машиностроении / О.С. Кошелев; НГТУ. – Н. Новгород, 2013. – 260 с.
2. **Максименко, А. Н.** Стратегия поддержания и восстановления работоспособности строительных и дорожных машин с учётом изменений выходных параметров работоспособности на этапе эксплуатации их жизненного цикла // Наука и техника. 2013. № 2. С. 44–49.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

O. S. Koshelev, S. F. Magnitskaya

SOME ISSUES OF DIAGNOSTICS OF MACHINES

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

This article suggests an algorithm that the authors consider quite convenient for decision making concerning the necessity to perform diagnostics of the designed and operating systems.

Key words: diagnostics, algorithm, service life of machines, product (item), single and multiple use items.

УДК 621.914.5

А.Н. Петровский¹, Г.А. Дружинин²

ОСОБЕННОСТИ ДВУХПОЗИЦИОННОГО ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО «НИТЕЛ»²**Цель:** Улучшение технологичности, точности и качества обработки зубчатых колес.**Метод:** Анализ технического уровня и опытно-технологические работы.**Результаты:** Подтверждена возможность нарезания зубчатых колес с повышенной нагрузочной способностью универсальными червячными фрезами с повышением точности и качества поверхностей эвольвентного профиля**Область применения:** Машиностроение.*Ключевые слова:* двухпозиционное зубофрезерование, двухпозиционный обкат, нагрузочная способность, точность и качество зубчатых передач, универсальные червячные фрезы.

Зубчатые передачи современных машин отличаются высокой нагрузочной способностью, низкими уровнями вибрации и шума. Улучшение свойств достигается за счет оптимизации формы сопрягаемых зубьев по критериям нагрузочной способности и качества зацепления. Синтез оптимизированного эвольвентного зацепления выполняют на всей области его существования, которая значительно превосходит блокирующие контуры стандартного исходного производящего контура (ИПК) [1].

ИПК по ГОСТ 13755-68 и ГОСТ Р 50531-93 не пригодны для достижения предельных показателей нагрузочной способности рабочего зацепления. Большая толщина выступов по граничной прямой и большие углы профиля ограничивают высоту и толщину формируемых зубьев, коэффициент перекрытия и прочность зацепления.

В интересах конкурентоспособности производители применяют специальный зубо-резный инструмент с нестандартными ИПК и соглашаются с ростом затрат на подготовку производства. Подобная практика утвердилась в авиационной и автомобильной промышленности, где дополнительные затраты компенсируют эффективностью трансмиссий и комфортом пассажиров. В других отраслях: станкостроении, судостроении, тракторостроении и т. д. – оптимизированные передачи имеют ограниченное применение, что объясняют технологической преемственностью и ограниченными инвестиционными возможностями.

Однако задача применения универсального инструмента в производстве зубчатых передач с улучшенными свойствами имеет свое решение, которое позволяет преодолеть трудности модернизации.

В технологии машиностроения известен способ нарезания зубьев стандартным инструментом, который позволяет формировать эвольвентный профиль в широком диапазоне геометрических параметров. Возможно, первое описание способа дает К.А. Корнилов в книге «Производство зубчатых колёс» [2] и рекомендует его для ремонтного, единичного и мелкосерийного производства. В 1933 г. автор книги реализовал способ «двойного нарезания» в ремонтном производстве Челябинского тракторного завода при изготовлении дробномодульных (двухмодульных) колёс стандартным инструментом.

Суть способа заключается в том, что после окончания предварительного нарезания разъединяют кинематическую цепь, связывающую заготовку с инструментом. Заготовку поворачивают относительно инструмента на расчетную величину угла, соответствующего уменьшению толщины зуба, и нарезают второй и последний раз. Поворот заготовки может быть заменен соответствующим тангенциальным смещением фрезы.

Основы теории и расчетов зубчатых передач с использованием как радиального, так и тангенциального смещения ИПК разработаны и опубликованы И.П. Ивановым [3].

С дополнительным тангенциальным смещением стандартного инструмента выполнены зубья шестерни и колеса в эвольвентной передаче внутреннего зацепления [4], запатентованной производственным объединением "Электростальтяжмаш" в 1994 году авторы А.А. Ковтушенко, С.А. Лагутин, В.В. Мунтян.

В два этапа с использованием радиального и тангенциального смещений нарезают зубья в способах изготовления эвольвентных звездочек зубчатых цепей, которые запатентованы Кубанским государственным технологическим университетом в 2006 году авторы А.А. Петрик, С.Б. Бережной, О.И. Остапенко, А.А. Война [5, 6].

В работах [7,8] описан метод конструктивно-технологической оптимизации геометрических параметров зацепления, который включает совместный синтез рабочего и станочных зацеплений с применением двухпозиционного обката заготовок универсальным ИПК с постоянными параметрами.

По своим результатам двухпозиционный обкат эквивалентен применению ИПК с переменной толщиной выступа (рис. 1). В первой позиции фрезеруют зубья увеличенной толщины с необходимым радиальным смещением ИПК, причем одна из сторон зубьев может быть сформирована окончательно. Необходимую толщину зубьев обеспечивают настройкой второй позиции обката за счет тангенциального смещения инструмента или углового смещения заготовки (см. рис. 2).

Общая технологическая особенность перечисленных технических решений: обработка зубьев в двух позициях обката. В первой позиции реализуют радиальное смещение ИПК, а во второй – тангенциальное.

В связи с отсутствием общепринятого наименования способа мы применяем термин, который отражает эту общую особенность зубообрабатывающих операций: «двухпозиционный обкат» и «двухпозиционное зубофрезерование». Отметим, что согласно ГОСТ 3.1109-82 (п. 55), позиция – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.

Двухпозиционное зубофрезерование имеет ряд особенностей, которые следует учитывать в технологическом проектировании и производстве оптимизированных передач.

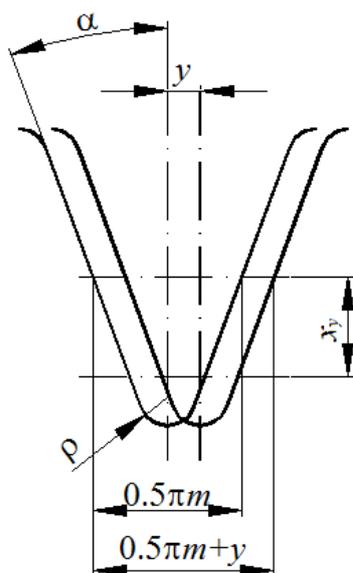


Рис. 1. Универсальный ИПК

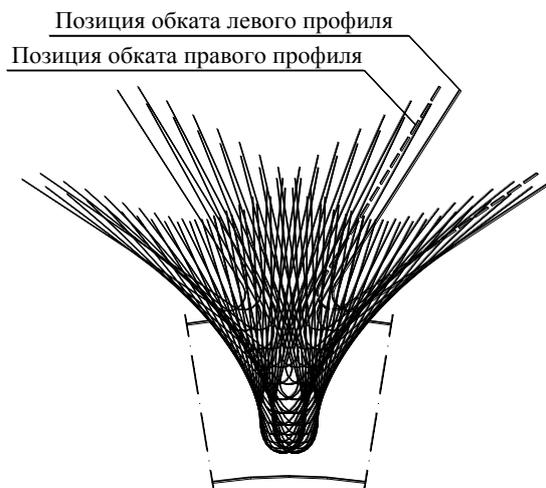


Рис. 2. Двухпозиционный обкат

Форма универсального ИПК определяется двумя параметрами: углом профиля α и радиусом округления головки r . Позиции ИПК задают радиальным x_r и тангенциальным y

смещениями. Коэффициенты смещений определяют решением задачи конструктивно-технологической оптимизации, например по методике [6,7]. Оптимальный выбор смещений исключает эффекты подрезания, заострения, интерференции и сокращения толщины зубьев.

Оптимизированные передачи имеют равнопрочные зубья с предельно возможными высотами, толщинами и коэффициентами перекрытия. Некоторое снижение коэффициента формы высоких зубьев компенсируется лучшим перекрытием и податливостью под нагрузкой так, что общая нагрузочная способность зацепления возрастает. Для реализации двухпарного зацепления степень точности не должна превышать шестую степени по ГОСТ 1643 - 81.

В станочных зацеплениях параметры универсального ИПК должны обеспечить коэффициенты перекрытия большие, чем в рабочем зацеплении оптимизированных передач. Из схемы станочного зацепления (рис. 3) следует, что параметры ИПК должны удовлетворять соотношениям

$$\varepsilon_{\alpha 0} = \left(\operatorname{tg} \alpha_{a0} - \operatorname{tg} \alpha_t + \frac{\pi}{z \cos^2 \alpha_t} + \rho^* \frac{2}{z \cos \alpha_t} \right) \frac{z}{2\pi} \geq \varepsilon_{\alpha}, \quad (1)$$

$$\alpha_{a0} = \arccos \left(\left(\frac{1}{\cos \alpha_t} + \left(\frac{\pi}{z \cos \alpha_t} - 4 \frac{\rho^*}{z} \right) \operatorname{tg} \alpha_t - \left(\frac{\pi}{z \cos \alpha_t} + 2 \frac{\rho^*}{z} \right) \operatorname{tg} \alpha_t \right)^{-1} \right), \quad (2)$$

где 0 – индекс станочного зацепления; ε_{α} – коэффициент перекрытия в рабочем зацеплении; $\varepsilon_{\alpha 0}$ – коэффициент перекрытия в станочном зацеплении; α_{a0} – предельный угол профиля на окружности вершин нарезаемых колес; α_t – угол профиля ИПК в торцовой плоскости зубчатого колеса; ρ^* – модульный коэффициент радиуса округления ножки ИПК в долях модуля; z – число зубьев нарезаемого колеса.

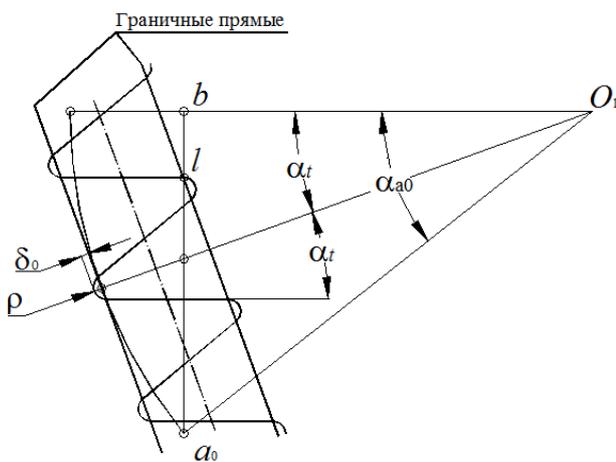


Рис. 3. Схема станочного зацепления

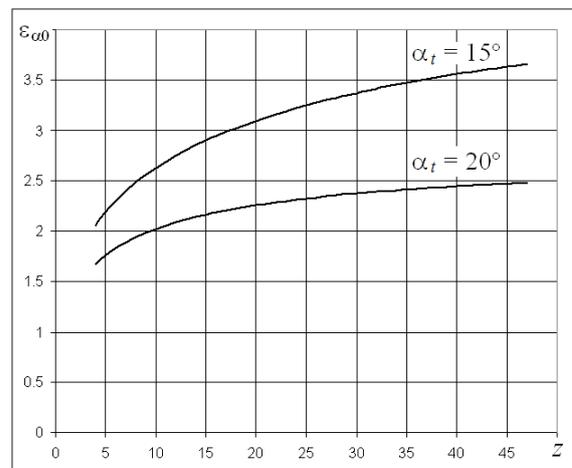


Рис.4. Зависимость $\varepsilon_{\alpha 0}$ от z

На рис. 4 показаны зависимости $\varepsilon_{\alpha 0}$ от числа зубьев z и угла профиля α_t , из которых следует, что реализация зацепления с коэффициентом перекрытия > 2 возможна при $\alpha_t < 20^\circ$. С учетом роста угла профиля ИПК в торцовом сечении косозубых колес рациональные значения углов профиля составляют 12 - 15°.

Радиальный зазор δ_0 в станочном зацеплении должен быть больше высоты округления ножки ИПК,

$$\delta_0^* \geq \rho^* (1 - \sin \alpha_t), \quad (3)$$

а угол профиля α_a на окружности вершин нарезаемых колес должен быть меньше угла α_{a0} .

Радиус округления головки универсального ИПК и его толщина по граничной прямой существенно меньше, чем у стандартных контуров, что обеспечивает место под припуск вто-

рой позиции обката.

Отношение толщин зубьев на граничной прямой универсального и стандартных ИПК составляет 0,57 (57%) для ГОСТ 13755-68 и 0,79 (79%) для ГОСТ Р 50531-93. Минимальное значение радиуса округления соответствует эмпирическому условию стойкости зуборезного инструмента $\rho^* = 0,25 \dots 0,3$.

Размеры для контроля взаимного положения разноименных профилей зубьев можно рассчитать по формулам ГОСТ 16532-70, используя приведенные коэффициенты смещения:

$$x_{1,2}^* = x_{y1,2}^* + \frac{y_{1,2}^*}{2 \operatorname{tg} \alpha}. \quad (4)$$

В первой позиции обката выполняется черновое и получистовое зубофрезерование. Зубья фрезы работают всеми режущими кромками. Припуск под получистовое зубофрезерование показан на рис. 5. Отношение радиальной t_r и нормальной t_n толщин припуска определяется выражением

$$\frac{t_r}{t_n} = \frac{1}{\sin \alpha_t}, \quad (5)$$

Уменьшение угла профиля ИПК приводит к увеличению разности толщин стружки, срезаемой вершинными и боковыми режущими кромками. Из графика на рис. 6 следует, что нагрузка на вершинную кромку фрезы с универсальным ИПК будет выше, чем у стандартных фрез.

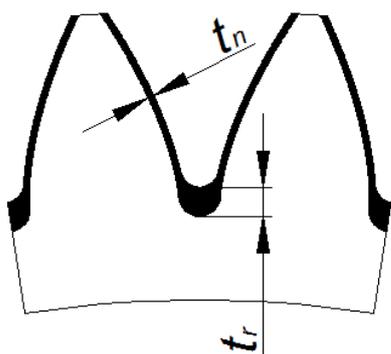


Рис. 5. Припуск под получистовое зубофрезерование в первой позиции обката

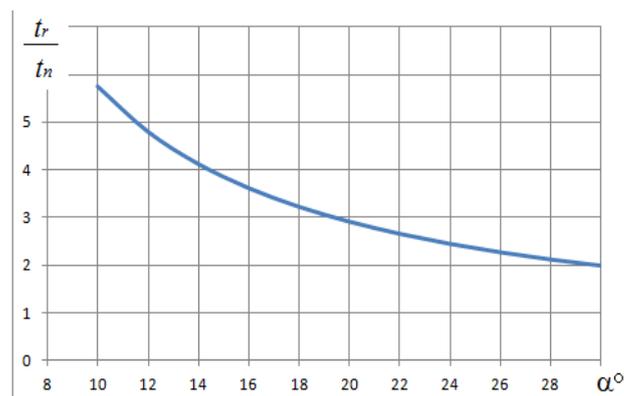


Рис. 6. Зависимость отношения радиальной и нормальной толщин припуска от угла профиля

Во второй позиции обката выполняется чистовое фрезерование рабочей стороны зубьев. Припуск под чистовое зубофрезерование определяется величиной тангенциального смещения u . Зубья фрезы работают одной боковой режущей кромкой и прилегающей частью вершинной кромки. Резание происходит по одной линии станочного зацепления.

На рис. 7 и рис. 8 показаны нормальные сечения удаляемых слоев припуска на входной и выходной стороне выступа ИПК. На входной стороне формирование зуба начинается боковой режущей кромкой, а заканчивается вершинной кромкой. На выходной стороне формирование профиля зуба начинается вершинной режущей кромкой и заканчивается боковой кромкой.

Первый вариант настройки позволяет разгрузить вершинную кромку червячной фрезы и представляется благоприятным для продления стойкости инструмента. В этом варианте настройка второй позиции зубофрезерования выполняется вращением заготовки в сторону противоположную вращению стола.

В целях улучшения качества боковых поверхностей возможно применение многопозиционного обката, который становится необходим, когда к противоположным сторонам

зубьев предъявляются одинаковые технические требования. В этом случае припуск под вторую позицию делится между сторонами, а обкат производится в трех позициях.

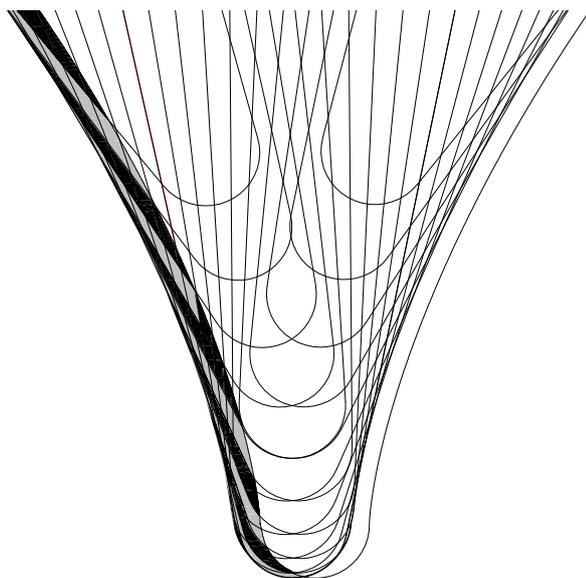


Рис. 7. Сечения срезаемых слоев припуска на входной стороне ИПК

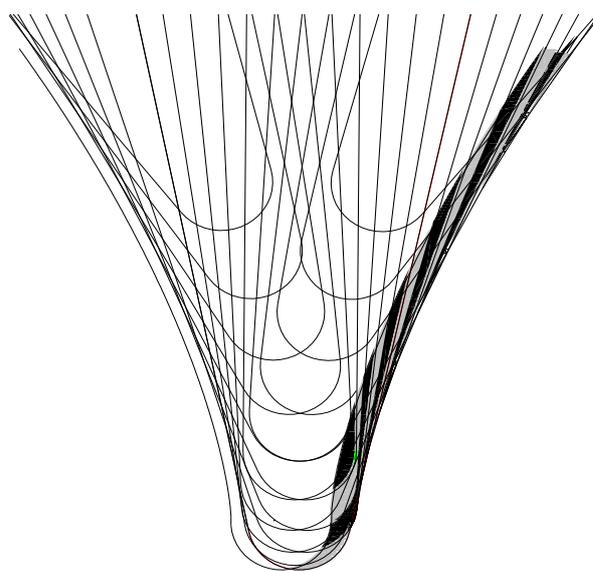


Рис. 8. Сечения срезаемых слоев припуска на выходной стороне ИПК

Смена позиций не оказывает влияния на станкоёмкость и трудоемкость зубофрезерования и без затруднений реализуется в станках с числовым программным управлением.

Если зубья колес шлифуются, то ИПК червячных фрез выполняют с протуберанцем. В общем случае протуберанец может подрезать значительный участок эвольвентной части профиля. Однако для оптимизированных передач величина подреза невелика, так как протуберанец формирует профиль вблизи начальной окружности станочного зацепления и огибающая положений протуберанца близка к его форме.

Экспериментальные работы по исследованию двухпозиционного зубофрезерования [9] были выполнены на зубофрезерном полуавтомате модели 5К32П универсальной червячной фрезой с 12 стружечными канавками, четырьмя заходами и следующими параметрами ИПК: $\alpha = 12^\circ$, $\rho = 0,65$ мм, $m = 2,1167$ мм.

Для установки заготовок применялась многоступенчатая оправка с посадочными шейками под все зубчатые колеса технологической группы. Тангенциальное смещение червячной фрезы производилось осевым перемещением суппорта, а угловое смещение заготовки посредством специального позиционера [10] (рис. 9).

Позиционер содержит оправку 1 с местами под заготовку 2, поводок 3, опорный уголок 4, микрометрическую головку 5, кронштейн 6, клемму 7, болт-стойку 8, гайки 9 крепления опорного уголка, и детали крепления 10. Поводок 3 крепится к оправке 1 и опорному уголку 4. Последний закреплен на столе станка через продолговатое отверстие посредством болта-стойки 8 и гаек 9. Корпус микрометрической головки 5 закреплен на опорном уголке посредством кронштейна 6, а микрометрический винт соединен клеммой 7 с болтом-стойкой.

Настройка второй позиций обката производится после отвода инструмента от заготовки 2 и снятия затяжки с гайки 9. Вращением микрометрического винта поворачивают заготовку на расчетную величину смещения позиций обката. После чего опорный уголок 4 затягивают гайками 9 на болте-стойке 8. Позиционер позволяет смещать заготовку в двух направлениях и выполнять обработку обеих сторон зубьев.

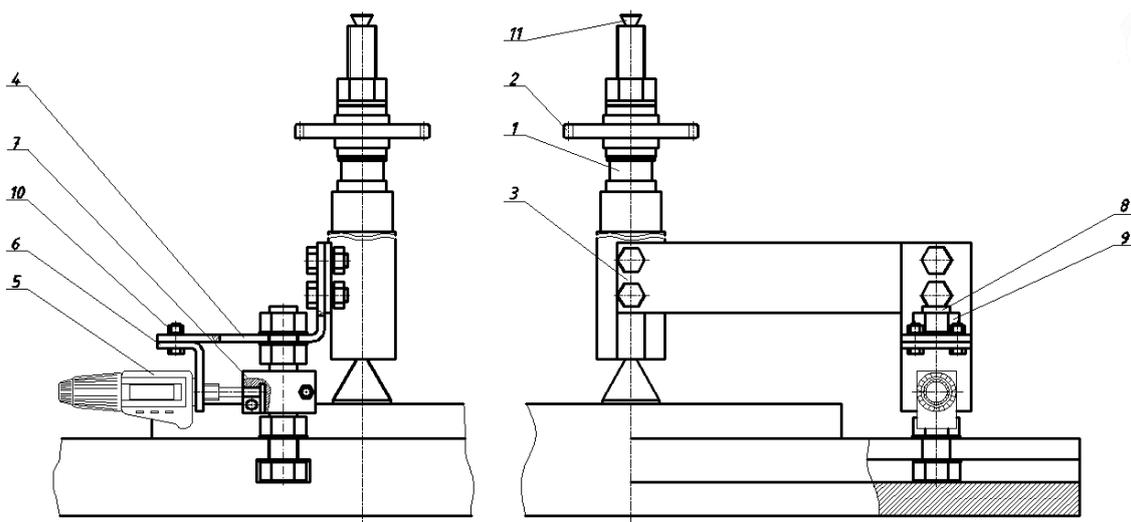


Рис. 9. Позicionер

Зубофрезерование производилось в три этапа: черновой, получистой с радиальным припуском 1 мм и чистовой с тангенциальным смещением 0,32 мм. Черной и получистой этапы выполнялись в первой позиции обката, а чистовой - во второй.

Таким образом, одна сторона зуба была обработана традиционным способом в первой позиции обката, когда в процессе резания участвовали все режущие кромки зуба червячной фрезы. Противоположная сторона зуба прошла обработку во второй позиции обката, когда в процессе резания участвовали режущие кромки одной стороны зубьев фрезы.

Контроль опытных образцов показал, что погрешность профиля и шероховатость на стороне зуба, прошедшей обработку во второй позиции обката, вдвое меньше, чем на противоположной стороне зуба после традиционной обработки.

Погрешности направления зуба и шага зацепления на противоположных профилях зубьев оказались одинаковыми.

Выполненные экспериментальные работы подтвердили возможность производства зубчатых передач с улучшенными свойствами способом двухпозиционного зубофрезерования.

Стойкость новых универсальных червячных фрез не снизилась относительно стандартизованных аналогов, а новая технологическая оснастка оказалась несложной и вполне работоспособной.

Трудоемкость и станкочасовые затраты операций двухпозиционного зубофрезерования не превышают аналогичные показатели традиционной обработки.

Достигнуто улучшение технологичности зубчатых колес с повышенной нагрузочной способностью за счет применения универсальных, а в перспективе стандартных червячных фрез с постоянными параметрами ИПК.

Двухпозиционное зубофрезерование позволяет снизить погрешности профиля и шероховатость рабочих поверхностей зубьев как в производстве зубчатых колес стандартного исходного контура, так и в производстве передач с улучшенными свойствами.

Библиографический список

1. **Вулгаков, Э.Б.** Теория эвольвентных зубчатых передач / Э.Б. Вулгаков. – М.: Машиностроение, 1995. – 320 с.
2. **Корнилов, К.А.** Производство зубчатых колес. Мелкосерийное и единичное производство цилиндрических, конических, червячных, прямозубых и косозубых колёс / К.А. Корнилов. – М.: Машгиз. 1947. – 244 с.
3. **Иванов, И.П.** Зубчатые передачи с комбинированным смещением: Основы теории и расчетов. Л, Издательство Ленинградского университета / И.П. Иванов, 1989. – 128 с.

4. Пат. 2025614 РФ, МПК F16H1/10, F16H3/40. Эвольвентная зубчатая корригированная передача внутреннего зацепления / Производственное объединение "Электростальтяжмаш" // Изобретение. Официальный бюл. 1994.
5. Пат. 2110374 РФ, МПК B23F1/06, F16H55/30. Способ изготовления эвольвентных звездочек / Кубанский государственный технологический университет // Изобретение. Официальный бюл. 1998.
6. Пат. 2314900 РФ, МПК B23F5/22. Способ изготовления эвольвентных звездочек для зубчатых цепей / Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУВПО "КубГТУ") // Изобретения. Официальный бюл. 2008. №2.
7. Пат. 2412026 РФ, МПК B23F5/14, B23F5/14. Способ образования зубчатых передач двухпозиционным обкатом / А.Н. Петровский // Изобретения. Полезные модели. Официальный бюл. 2011. № 5.
8. **Петровский, А.Н.** К задаче оптимизации параметров эвольвентного зацепления // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2011. С. 75–87.
9. **Дружинин, Г.А.** Экспериментальное исследование двухпозиционного зубоврезерования // Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: мат. докладов. – Н. Новгород., 2011. С. 19–22.
10. Пат. на полезную модель 128848 РФ, МПК B23F23/12, B23F23/12. Позиционер / Г.А. Дружинин, А.Н. Петровский, С.В. Воронков // Изобретения. Полезные модели. Официальный бюл. 2013. № 16.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A.N. Petrovskiy¹, G. A. Druzhinin²

SPECIAL ASPECTS OF TWO-POSITION GEAR HOBGING

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev¹,
JSC "NITEL"²

Purpose: Improvement of producibility, accuracy and quality of gear wheel treatment.

Methods: Technical level analysis and experimental and technological works.

Results: The possibility of cutting gear wheels with extended loading capacity by means of universal wormwheel hobs providing for higher accuracy and involute profile surface quality.

Key words: two-position gear hobbing, two-position generation, loading capacity, accuracy and quality of toothed gearing, universal wormwheel hobs.

УДК 004.046

М.С. Трофимова

APQP – ПРОЦЕСС КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ – ПОСТАВЩИКОВ АВТОКОМПОНЕНТОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Проводится сравнение особенностей отечественной культуры разработки продукции с западной культурой, выявлены проблемы внедрения и применения методологии APQP и предложены методы улучшения сложившейся ситуации, которые приведут к реальному соблюдению требований международного стандарта ISO/TS 16949:2009 и развитию отечественных предприятий-поставщиков автокомпонентов.

Ключевые слова: поставщики, автокомпоненты, система менеджмента качества (СМК), международный стандарт, перспективное планирование качества продукции.

В настоящее время мировые требования к поставщикам автокомпонентов постоянно ужесточаются, и это приводит к тому, что российским предприятиям-поставщикам становится всё труднее выдерживать конкуренцию с зарубежными производителями.

Крупнейшие иностранные корпорации выбирают в качестве площадки для своего производства территорию России. Но системы менеджмента качества (СМК) многих российских предприятий-поставщиков оказываются не соответствующими требованиям мировых стандартов. Поэтому в большинстве случаев необходимые комплектующие для производства иностранных автомобилей в России поставляются из-за рубежа.

Нижегородская область является крупнейшим кластером по производству автокомпонентов. Многие иностранные производства разместились на её территории, однако лишь немногие отечественные предприятия-поставщики соответствуют требованиям международного стандарта ISO/TS 16949:2009, особенностью применения которого является требование обязательного использования определенных инструментов, включающих APQP.

Благодаря большой тройке американских автомобилестроительных компаний (Ford, Chrysler, General Motors), в России сейчас есть документ, который является де-факто обязательным приложением к стандарту ISO/TS 16949:2002 [4], где описаны требования к процессу разработки и постановки продукции на производство. Это APQP [5] – документ, который, безусловно, полезен практически во всех отраслях техники, а не только в автомобильной отрасли и цепи ее поставщиков. В июле 2005 г. был утвержден ГОСТ Р 51814.6-2005 [1], идентичный по требованиям документу APQP, но описанный более привычным для наших специалистов языком [6].

APQP – процесс планирования, разработки, подготовки и осуществления производства – структурированный метод определения и своевременного выполнения поставщиком всех этапов работы, необходимых для обеспечения требований и ожиданий потребителя автокомпонентов [1].

Целью APQP-процесса является обеспечение на его выходе запланированного качества серийно производимых автокомпонентов, соответствующих требованиям и ожиданиям потребителей. Внутренней целью рассматриваемого процесса является четкое взаимодействие всех его участников и обеспечение своевременного выполнения требуемых этапов работы при приемлемых затратах [1].

В национальном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р 51814.6 – 2005 [1] описана методология планирования, разработки, подготовки производства и производства автомобильного компонента, в описании которой сделан акцент на предупреждение ошибок, посто-

янное улучшение продукции и ее совершенствование, которая должна соответствовать требованиям потребителя и превосходить их.

После применения методологии APQP при реализации проекта компания получает положительный результат, выражающийся в снижении числа ошибок и ускорении всего процесса подготовки производства. Кроме того, на руках остаются документированные доказательства того, что все требования заказчика были учтены и выполнены [3].

APQP является самой главной процедурой ISO/TS -16949 и самой трудной при внедрении. Обычно на производстве ей уделяют мало внимания. Для многих эта процедура менее понятна, чем все остальные, и не важнее других процедур. Однако что это не так, начинают понимать слишком поздно. При внедрении процедуры необходимо увязать входы и выходы всех этапов с учётом особенностей предприятия. Особенность предприятий сейчас в том, что большинство работают по конструкторской документации (КД), разработанной предприятием потребителем. А это значит, что просто внедрить процедуру один к одному, как написано в стандарте, нельзя, придётся подумать, особенно это касается первых этапов APQP. На предприятиях очень часто оставляют внедрение процедуры APQP на последний момент как самую трудную процедуру, позже обнаруживая, что именно с нее необходимо было начинать внедрение ISO/TS -16949 [2].

APQP состоит из пяти этапов, которые выполняются последовательно – параллельно, т.е. с перекрытием по времени, что необходимо для сокращения сроков разработки [5]. Следует отметить, что такой порядок выполнения этапов является существенным различием западной культуры и отечественной, так как он обеспечивает более тесную связь между этапами и позволяет вернуться на этап раньше при необходимости проведения улучшений или исправления допущенных ошибок на предыдущем этапе. Все этапы APQP направлены на единую цель - достижение соответствия потребностям и ожиданиям потребителей [2].

Сравним особенности отечественной культуры разработки продукции с западной культурой. Начнем с названия. Если в отечественной культуре процесс в целом, предшествующий производству, называется «Разработка и постановка продукции на производство» (РППП) [7], то в западной культуре это – Advanced Product Quality Planning (APQP), что можно перевести как «планирование продукции высокого качества» или «Перспективное планирование качества продукции». Иными словами, название документа сразу ориентирует пользователя на такие действия, которые в дальнейшем обеспечат гарантированное качество серийной продукции. Но дело, конечно, не только в названии [6].

Перечислим основные этапы этого процесса. В целом, они одинаковы как в отечественной культуре, так и в западной, но есть одно главное различие – формальное выполнение этих этапов при отечественном производстве продукции.

Этап 1 – планирование процесса в целом, анализ «голоса потребителя» и сознание концепции будущего продукта. В результате выполнения этого этапа должен быть получен план всех последующих мероприятий, который будет ориентирован на заранее известный день начала серийного производства новой продукции; техническое задание (ТЗ) на разработку новой продукции, которое является результатом анализа «голоса потребителя».

Этап 2 – проектирование конструкции (продукции). По итогам выполнения этого этапа должны быть получены следующие основные результаты:

- разработана конструкторская документация, в которой проверены соответствия всех функций будущего изделия требованиям и предпочтениям потребителя, указанным в ТЗ;
- проведена проверка работоспособности, функций нового изделия на основе испытаний опытного образца (образцов);
- составлен перечень ключевых показателей продукции, т.е. важнейших показателей изделия в целом и его компонентов, которым в дальнейшем потребуются уделить особое внимание.

Этап 3 – проектирование технологии производства. В результате должна быть готова специально проверенная технологическая документация (ТД) на предмет возможности технологии, реализуемой в дальнейшем, уверенно обеспечить выполнение всех требований КД, особенно ключевых, и перечень ключевых технологических операций и режимов, в результате выполнения которых формируются ключевые показатели продукции. А так же все необходимые предусмотренные действия в технологических процессах по этим ключевым операциям и режимам.

4 Этап – подготовка производства. По итогам выполнения этого этапа должны быть получены следующие основные результаты:

- осуществлена тщательная всесторонняя проверка подготовленности производства;
- проведена экспериментальная проверка способности подготовленного производства обеспечить выпуск качественной продукции в соответствии со всеми запланированными показателями и функциями. Эта экспериментальная проверка основывается на выпуске «установочной серии продукции»;
- подписан акт готовности производства (у поставщика) и PSW-заявка заводом – потребителем на основании комплекса документальных результатов всех предыдущих этапов и результатов проверки установочной серии продукции.
- только после подписания PSW-заявки завод – изготовитель получает право производить продукцию и поставлять ее заводу – потребителю.

Этап 5 – производство, улучшение, обратная связь с потребителем. Основными результатами этого этапа являются:

- мониторинг удовлетворенности потребителя по показателям, имеющим важное значение как для потребителя, так и для поставщика;
- приведение процессов к более стабильной работе, снижение изменчивости основных показателей качества этих процессов;
- осмысление собственного опыта производства, т.е. глубокое понимание всех свойств процессов.

Основные отличия APQP от традиционных систем подготовки производства, принятых на большинстве российских предприятий, заключаются в командном подходе, постоянной ориентации на требования и ожидания потребителей при проведении всех без исключения работ [8], а также документирование результатов в соответствии со специальным руководством APQP.

Для проведения APQP-процесса на предприятии должна быть создана межфункциональная APQP-команда. Она должна иметь в своем составе представителей служб, которые существенным образом влияют на выполнение всего APQP-процесса (как правило, служб маркетинга, проектирования, производства, управления качеством, управления закупками, служб продаж и сервиса и др.). Целью APQP-команды является планирование и координация всех действий по выполнению APQP-процесса для гарантированного обеспечения качества будущей серийной продукции [1].

Несмотря на то, что многие отечественные производители относятся формально к выполнению процедуры APQP, в нашей стране есть те грамотные руководители, которые ее применили при реализации своего проекта и ощутили значительные преимущества, выразившиеся в снижении числа ошибок и ускорении хода всей подготовки производства. Одни на вопрос: «Применяете ли Вы APQP?» – отвечают: «У нас есть все документы, сертификат получен, нам не нужны какие – то действия и разработки, лишние документы и ненужная работа». Другие применяют методологию APQP и получают на руки реальные документированные доказательства того, что все требования заказчика были учтены и выполнены.

Что было сделано? Прежде всего была сформирована межфункциональная команда из специалистов подразделений, задействованных в проекте. Для создания такой команды потребовалось определенное время, чтобы убедить в этом руководителей некоторых подразделений. При внедрении проекта пришлось проводить работы, которые требуются для выпол-

нения процедуры APQP, но ранее на предприятии не проводились. Это анализ измерительных систем (MSA), анализ видов и последствий отказов (FMEA), статистическое управление процессами (SPC) и др. Выполнение этих работ успешно возможно только при совместном и активном участии всех сотрудников нескольких подразделений предприятия.

После создания межфункциональной команды была составлена матрица ответственности, и на первом совещании команда между собой распределила ответственность за основные виды работ. Для выполнения каждой из них был назначен член команды, который брал на себя основную ответственность, и члены команды, помогающие ему в работе. Распределение ответственности проводилось под контролем руководителя команды, который следил за возложением обязанностей на наиболее компетентных в соответствующей области специалистов.

При выполнении проекта потребовалось организовать обучение сотрудников по работе в команде, были изучены методы обеспечения качества на западных предприятиях. Метод «мозгового штурма» можно назвать основным методом, который помогает проводить команде периодические совещания наиболее продуктивно и находить неожиданные для себя решения конкретной проблемы. Один из членов команды представляет вариант решения, остальные обсуждают его, поддерживают или критикуют, предлагают альтернативные решения. Все это происходит под контролем руководителя команды, который направляет дискуссию в конструктивное русло, следит за тем, чтобы все члены команды могли свободно высказаться, контролирует соблюдение повестки дня совещания, ставит на голосование принимаемые командой решения, подводит итоги совещания.

В соответствии с APQP, на периодических совещаниях команды проводился анализ видов и последствий отказов: коллективно обсуждались возможные отказы в технологических процессах, оценивались вероятности их возникновения, обнаружения и устранения. Причем такой анализ проводился после каждого изменения в технологических процессах (на данный момент разработана 14-я версия протокола FMEA). На основе рисков, связанных с отказами, планировались корректирующие действия, в результате которых удалось последовательно снизить уровень внутренних несоответствий. Планы корректирующих действий охватывали не только конкретный продукт, но и изделия, в которых может проявиться зафиксированное несоответствие. Благодаря этому было улучшено качество поршней, поставляемых другим потребителям. После завершения очередного плана корректирующих действий, команда оценивала их эффективность, снова проводя FMEA и оформляя результаты протоколом. Таким образом, FMEA заработал как постоянный процесс, и о нем теперь можно вести речь в настоящем времени [8].

В целом для достижения успехов в применении методологии APQP необходимо, чтобы на предприятии сформировалась позитивная установка, трактующая требования APQP - как инструмента, способствующего удовлетворению запросов и ожиданий потребителей, начиная с самых ранних этапов освоения новой продукции. Очень важно избежать ситуации, когда требования к процессу "перспективного планирования качества продукции" выполняются формально, "для аудитора", это ведет лишь к разочарованию и напрасным затратам времени и средств» [8]. Также необходимо понимание сотрудниками предприятия и его руководством самой процедуры, ее этапов и взаимодействия информации в ходе выполнения этих этапов между собой.

Исходя из указанных проблем внедрения процедуры APQP и важности соблюдения этой процедуры, можно предложить установление четких взаимосвязей между этапами данной процедуры и документами, сопровождающими весь процесс планирования, разработки, подготовки и осуществления производства. А также визуализацию этих взаимосвязей в виде компьютерной программы, позволяющей APQP-команде успешно выполнять свои функции, а новым сотрудникам коллектива наиболее быстро включаться в работу команды. Что при-

ведет к реальному соблюдению требований международного стандарта ISO/TS 16949:2009 и развитию отечественных предприятий – поставщиков автокомпонентов.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 51814.6 – 2005 – «Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Менеджмент качества при планировании, разработке и подготовке производства автомобильных компонентов».
2. Кудряшов, А. В. Некоторые вопросы внедрения ISO/TS - 16949 в законах Мерфи // <http://www.s-konsalt.ru> – Официальный сайт Группы компаний "СтройКонсалтинг Групп".
3. **Алешин, А.Н.** Подготовка производства инновационной и субконтрактной продукции: метод. пособие / А.Н. Алешин [и др.]. – М., 2010.
4. ГОСТ Р 51814.1 – 2004 (ИСО/ТУ 16949:2002). Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Особые требования по применению ГОСТ Р ИСО 9001 – 2001 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части.
5. Перспективное планирование качества продукции (APQP) и план управления; пер. с англ. – Н.Новгород: СМЦ «Приоритет», 2004. – 117 с.
6. **Розно, М.И.** APQP – процесс, или процесс разработки и постановки продукции на производство. www.fsapr2000.ru
7. ГОСТ Р 15.201- 2000. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно – технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство.
8. **Смирнов, В.А.**, Брувер А.В., Амяльев А.А. QS-9000 / Методы менеджмента качества – 2002. <http://ria-stk.ru>.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

M. S. Trofimova

APQP PROCESS AS AN INSTRUMENT FOR DOMESTIC AUTOCOMPONENTS MANUFACTURERS AND SUPPLIERS DEVELOPMENT

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

This article contains an analysis of specific traits of domestic production development as compared with the western ones, aspects of implementation and application of APQP methods are considered, and the ways to improve the current situation are suggested, that will allow for the actual compliance with ISO/TS 16949:2009 international standard requirements and development of domestic enterprises – autocomponent suppliers.

Key words: suppliers, autocomponents, quality management system (QMS), international standard, advanced product quality planning (APQP).

УДК 621.78

В.В. Крайнов

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДОРНОВАНИЯ В МЕДНЫХ (ВОЛНОВОДНЫХ) ДЕТАЛЯХ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены вопросы технологии производства волноводной техники СВЧ и на основе анализа различных технологий выявлена наиболее эффективная технология дорнования.

Ключевые слова: СВЧ волновод, токонесущая поверхность, шероховатость, дорнование.

В космической технике, радиолокации, медицине и других областях народного хозяйства используется техника СВЧ. Достаточно сложная в конструировании и технологии производства, она содержит различные элементы, которые в изготовлении имеют множество технологических приемов и аспектов для достижения высоких результатов эффективности работы.

Одним из основных элементов конструкции СВЧ является волноводный тракт. Токи СВЧ во время передачи сосредоточены в поверхностных слоях волновода. Собственные потери устройств зависят от глубины проникновения СВЧ-тока, то есть определяются качеством обработки рабочих поверхностей волноводного тракта. В настоящее время существует тенденция к увеличению мощности СВЧ-тока при уменьшении массы изделий и увеличении КПД передающих устройств, поэтому требования к качеству токопроводящей поверхности возрастают.

Волноводы СВЧ представляют собой металлическую трубу. Для крепления сегментов друг с другом и к различным элементам системы СВЧ по краям сегмента расположены фланцы, с помощью которых сегмент достаточно точно ориентируется с другими элементами (см. рис 1).

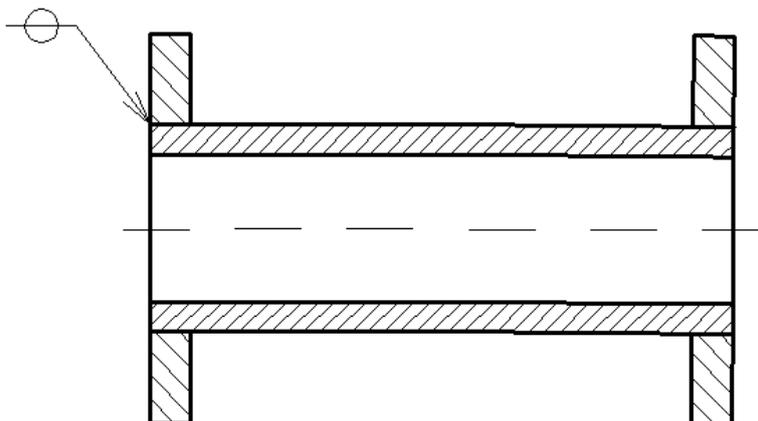


Рис. 1. Общее изображение волновода.

Стрелкой указано место соединения волновода с фланцем (пайка, сварка, накидной фланец и т.д.)

Продольное сечение волноводов также может быть различным в зависимости от назначения волноводного тракта: круглые, прямоугольного сечения, Н- и П-образные. Для малых серий профиль волновода, как правило, круглый, и волноводные секции изготавливаются из пруткового металла подходящего диаметра. Длина секции, как правило, определяется

возможностями инструмента, оборудования и технологии. Основными материалами для волноводов СВЧ являются алюминий, медь и их сплавы. Несмотря на высокие показатели алюминия по стоимости, весу и обрабатываемости, медь можно использовать в вакуумных конструкциях, что ставит ее на уровень универсальных материалов.

Однако у меди имеются и недостатки. Они обусловлены свойствами меди. Удельная проводимость меди весьма чувствительна к наличию примесей. Растворимость кислорода в меди мала, весь содержащийся в меди кислород находится в виде обособленных твердых и хрупких частиц Cu_2O , образующийся оксид меди формирует эвтектику ($\text{Cu}+\text{Cu}_2\text{O}$), зернограничные выделения которой снижают пластичность и деформируемость металла.

Частицы Cu_2O склонны к образованию скоплений, которые приводят к разрушению меди при обработке давлением как в горячем, так и в холодном состоянии. Водород является крайне вредным элементом, его повышенное содержание вызывает так называемую "водородную болезнь". Водород реагирует с оксидами, содержащимися в меди, с образованием водяного пара ($\text{Cu}_2\text{O}+\text{H}_2=\text{H}_2\text{O}+2\text{Cu}$). Под давлением паров воды внутри металла возникают микротрещины, а на поверхности - пузыри от вздутия металла.

Таким образом, все примеси в той или иной степени ухудшают свойства меди. Даже те примеси, которые не ухудшают технологическую пластичность и прочность меди, заметно снижают показатели физических свойств. Большинство примесей ухудшают весь комплекс свойств и в первую очередь характеристики электропроводности. Поэтому для волноводных линий СВЧ для работы в вакууме используют медь с содержанием примесей в сотые доли процента - это так называемая «бескислородная медь» (М00Б).

Как показывает практика, шероховатость рабочей (токонесущей) поверхности также значительно влияет на КПД волноводного элемента: чем выше класс шероховатости, тем ниже коэффициент поглощения и выше КПД.

Для производства волноводов из меди используются различные способы обработки, при которых получается различная шероховатость. В табл. 1 рассмотрены способы обработки медных волноводов, которые при технологических особенностях (различные режимы резания, геометрии инструмента, технологической оснастки) дают сходные классы чистоты.

Таблица 1

Классы чистоты для разных способов обработки медных волноводов

Способ обработки	Класс чистоты с параметрами Ra(мкм)
Литье по выплавляемым моделям	8-7 (0,4-0,8)
Сверление	5-3 (3,2-12,5)
Растачивание	7-5 (0,8-3,2)
Развертывание	7-6 (0,8-1,6)
Фрезерование	7-4 (0,8-6,3)
Шлифование	9-7 (0,2-0,8)
Протягивание	8-7 (0,4-0,8)
Гальваническая	8-6 (0,4-1,6)
Притирка Полирование	12-10 (0,025-0,1)
Полирование химическое	8-7 (0,4-0,8)
Доработка твердым сплавом (дорнование)	11-9 (0,05-0,2)

В СТП предприятий, изготавливающих волноводную технику, для рабочих (токонесущих) поверхностей волновода чистота поверхности имеет требование по 7-8-му классу.

По сравнению с методом изготовления волноводов из труб, метод литья является наиболее прогрессивным: требует меньших затрат времени и средств, использует недорогие и недефицитные материалы; обеспечивает более высокую стабильность характеристик волноводов за счет их монолитности и идентичности размеров.

Волноводные элементы изготавливаются литьем по выплавляемым моделям и имеют внутренние каналы прямоугольного, эллиптического или круглого сечения и сложной конфигурации. Для изготовления волноводов чаще всего используют сплавы АЛ9 и ЛС59–1Л. Они имеют хорошие литейные и механические свойства, коррозионную стойкость, легко обрабатываются резанием.

Литье по выплавляемым моделям требует изготовления моделей и, таким образом, подразумевает серийное и крупносерийное производство. Изготовление медных волноводов для работы в вакууме методом литья требует использования вакуумных печей для минимизации содержания примесей, что также приводит к значительным тратам.

Внутренняя поверхность полых волноводов должна достигать высокой степени чистоты, поверхностный слой металла должен быть однородным, без разрушений. Это достигается механическими видами обработки: чистовым точением, обработкой алмазным резцом, полированием, суперфинишированием.

Чистовое точение осуществляется с применением резцов из твердых сплавов (ВК-3) при угле $\bar{\alpha}$ -12-15°. Принципиальной особенностью чистового точения являются большие скорости резания (30–50 м/с) при малой глубине резания (0,05–0,1) мм и малой подачи (0,01–0,2 мм/об).

Обработка алмазным резцом следует после чистового точения. Для этого режущим граням алмазного резца придается полукруглый профиль с радиусом кривизны 100–120 мкм. Обточка внутренней поверхности волновода алмазным резцом производится на токарном станке при подаче резца в осевом направлении порядка 0,8–1 мкм на один оборот, скорости резания 17–20 м/с при интенсивном охлаждении струей азота. При таком режиме обработки средняя высота микронеровности составляет не более 0,025-0,005 мкм.

Несмотря на универсальность обработки, расточные резцы имеют ограничения при обработке отверстий малого диаметра, а также при обработке глубоких отверстий с отношением длины обрабатываемой поверхности к диаметру более 10. При растачивании глубоких отверстий происходит отжимание резца от обрабатываемой поверхности, так как оправка резца не имеет достаточной жесткости и точность изготовления цилиндрической поверхности ухудшается.

Достаточной жесткостью для образования цилиндрической поверхности при хорошем ее качестве обладают развертки и протяжки, применяемые на операциях развертывания и протягивания соответственно. Однако мерный инструмент, к которому относятся развертки, прошивки и протяжки, дорог в изготовлении и выгоден при значительной серийности волноводов. Имеются также значительные сложности при обработке входного отверстия волновода, и по этой причине необходимо дополнительное оборудование, использование плавающих патронов.

Притирка, полирование, суперфинишная обработка внутренних волноводных поверхностей и шлифование - достаточно производительные операции, дающие выигрыш во времени по сравнению с лезвийной обработкой. Однако все технологические операции с применением абразива сопровождаются засорением пор поверхности детали зернами абразива, значительно ухудшается качество рабочей поверхности, так как абразив разрушает структуру обрабатываемой поверхности.

Безабразивные полировальные технологии (без внедрения в поверхностный слой других материалов) занимают значительное время и, при хорошем показателе шероховатости, по точности остаются на уровне обработки поверхности предшествующим инструментом (как правило, это растачивание).

При изготовлении единичных образцов сложных по конструкции волноводных звеньев применяется способ электролитического осаждения металла на предварительно изготовленные модели (гальванические операции). По технологическому признаку эти модели разделяют на возвратимые и невозвратимые. Технологический процесс изготовления деталей по возвратным моделям состоит в следующем: на поверхность модели, выполненной из изоляционного материала, сначала наносят тонкий электропроводящий слой (серебро или медь),

после чего загружают в ванну с цианистым электролитом, в котором осаждается слой серебра толщиной 20–40 мкм. Затем медь переносят в ванну из комплексной медно-цианистой соли, где на нее наносят слой меди 2–3 мм и более. Особенностью возвратимых моделей является возможность изготовления по одной модели большого количества изделий.

При рассмотрении методов изготовления волноводов способ электролитического осаждения металла на предварительно изготовленные модели находит постоянное применение, особенно при покрытии рабочей поверхности волновода драгоценными металлами (золото и серебро), что позволяет иметь низкое удельное сопротивление у токонесущей поверхности, низкие потери на отражение и защитную пленку от окисления основного материала.

Однако предлагаемые операции из-за использование драгоценных материалов достаточно дороги. Покрытие моделей медью дает неоднозначное решение. И главное противоречие заключается в том, что при гальванических операциях происходит внедрение в материал волновода кислорода, что в дальнейшем вызывает «водородную болезнь», поэтому для вакуумных систем, гальванические технологии фактически не приемлемы.

Химическое полирование имеет хорошие показатели по шероховатости поверхности, минимальным затратам времени на обработку и поэтому широко используется для изготовления волноводных поверхностей. Электрохимическое анодирование производят в 20%-ном растворе серной кислоты, детали присоединяют к аноду, катодом служит свинцовая пластина. Однако, эта обработка используется как дополнение к качественной предыдущей обработке, так как может только на один класс повысить шероховатость поверхности. В остальном она полностью копирует форму предыдущей поверхности.

Доработка твердым сплавом или дорнование (деформирующее протягивание, прошивание) состоит в холодном пластическом деформировании заготовки при поступательном перемещении через отверстие с некоторым натягом специального инструмента. При этом обеспечивается повышение точности отверстий, интенсивное сглаживание микронеровностей и упрочнение поверхностного слоя. После дорнования на оптимальном режиме в поверхностном слое формируются сжимающие остаточные напряжения. В качестве инструмента при дорновании используют стальные и твердосплавные шары, однозубые и многозубые прошивки и протяжки, 1-2 зубые дорны. Рабочая часть зубьев прошивок и протяжек, в большинстве случаев, оформляется в виде двух усеченных конусов, соединенных цилиндрической ленточкой. Оптимальные значения углов конусов составляют $6...10^\circ$, ширина цилиндрической ленточки – 0,1...3 мм.

В целом, дорнование позволяет обеспечить высокую точность отверстий (до IT6...IT7), получить очень малую шероховатость поверхности (до Ra 0,05...0,1 мкм), значительно упрочнить поверхностный слой (рост микротвердости достигает 130...260%), создать в этом слое сжимающие остаточные напряжения, наибольшая величина которых близка к пределу текучести материала заготовки. Это упрочнение поверхностного слоя уплотняет металл, приводит к разрушению изолирующих межкристаллитных пленок, что приводит к уменьшению удельного сопротивления.

Однако как протяжки, так и прошивки, для единичного и мелкосерийного производства экономически не приемлемы. Именно единичное и мелкосерийное производство позволяет из огромного разнообразия ограничиться: стальными шарами, протяжными пульками и простыми 1-2-зубыми дорнами, так как материал волноводов медь, то для дорна используются недорогие стали: сталь 40 и аналогичные, с возможностью закалки или подкалки, или просто, без термообработки, в зависимости от необходимой чистоты обрабатываемой поверхности.

Важное влияние на процесс дорнования оказывает применяемый смазочный материал, устраняющий схватывание инструмента с заготовкой и обеспечивающий снижение деформирующего усилия, повышение точности и качества поверхности. При дорновании медных заготовок под волноводы любая масляная или жировая смазка запрещена, так как частицы масла или жира после дорнования внедряются в микропоры и значительно увеличат коэффи-

циент поглощения волн СВЧ. Такую поверхность использовать в вакууме вообще не представляется возможным.

Дальнейшая попытка промыть поверхность с помощью химических растворителей приводит к снижению качества поверхности. По этой причине дорнование медных заготовок под волноводы происходит при помощи спирта.

Выводы

Большинство способов обработки медных волноводов приходится на серийное производство, требующее применения дорогостоящего оборудования (вакуумную литьевую машину) или дорогостоящего мерного инструмента (развертки, протяжки и прошивки). Способы шлифования, притирка и полирование не применимы для обработки вакуумной меди. Медь требует лезвийную обработку рабочего поверхностного слоя, так как внедренный в рабочую поверхность абразив увеличивает удельное сопротивление металла и уменьшает КПД волновода, а в случае использования вакуумной технологии попавший в поверхность абразив вызывает проблемы с откачкой воздуха и дегазацией поверхности волновода. Из всех рассмотренных методов обработки медных волноводов, в особенности небольших диаметральных размеров, в единичном и мелкосерийном производстве наиболее эффективным следует признать дорнование

Библиографический список

1. **Арзамасов, Б.Н.** Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макаров, Г.Г. Мухин. – 7-е изд. М., 2005.
2. Справочник по электротехническим материалам / под ред. Ю.В. Корецкого, В.В. Пасынкого, Б.М.Киреева. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. **Садако, Г.А.** Гальванопластика / Г.А. Садако. – М.: Машиностроение, 2004.
4. **Скворцов, В.Ф.** Дорнование глубоких отверстий малого диаметра / В.Ф. Скворцов, А.Ю. Арляпов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005.
5. Физическое материаловедение: учебник / под ред. Б.А. Калина. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

V. V. Kraynov

BURNISHING EFFECTIVENESS IN COPPER (WAVEGUIDING) PIECES

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

The aspects of wave guiding microwave technology are considered, different technologies are analyzed, and the most effective burnishing technology is defined on this basis.

Key words: microwave waveguide, current carrying surface, roughness, burnishing.

УДК 676.056.71:62-26

Б.Ф. Балеев

АВТОКОЛЕБАНИЯ КАЛАНДРОВЫХ БАТАРЕЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрен механизм возникновения автоколебаний и свободные колебания системы валов. Найдены собственные частоты и формы колебаний. Принятая модель позволяет анализировать поведение системы.

Ключевые слова: автоколебания, свободные колебания, собственные частоты

С ростом скорости бумагоделательных машин возникло существенное увеличение вибрации каландровых батарей – системы валов, установленных в вертикальной плоскости и свободно лежащих один на другом, между которыми пропускается бумажное полотно для придания ему необходимой толщины и плотности. Вибрация приводила к образованию на листе равномерно расположенных поперечных полос, представляющих собой вмятины глубиной около 10-15 мкм, что заметно снижало качество печати и приводило к обрывам бумажного полотна. На поверхностях всех валов также образовывались полосы, представляющие собой чередование выпуклостей и впадин с постоянным шагом и высотой около 4 мкм.

Вся батарея входила в устойчивый колебательный режим. По мере увеличения высоты неровностей увеличивалась амплитуда колебаний. Валы приходилось периодически перешлифовывать. Длина валов около – 9 м. Диаметры: нижний – около 1000 мм и массой 47 т, второй – 600 мм, массой 16 т, остальные – 450 мм, массой 12 т.

В результате теоретических и экспериментальных исследований вибраций каландров выяснилось, что источником вибрации являются особые условия верхнего вала, который имеет свободу перемещения вверх. Неоднородность бумажного полотна вызывает первоначальные колебания, а затем при образовании первой вмятины вал входит в автоколебательный режим. Измерения виброизмерительной аппаратурой показали, что большую часть периода вертикального перемещения вал движется с ускорением свободного падения, то есть отрывается от бумажного полотна, а существенно меньшую часть – с ускорением около 7g.

Упругие свойства бумаги незначительны, поэтому вся энергия вала в фазе падения переходит в неупругую деформацию бумажного листа. Движение вверх происходит за счёт горизонтального движения бумажного полотна при использовании энергии привода батареи. Движение вала принимает автоколебательный характер, так как образуемая валом впадина обеспечивает его движение вверх, а движение вниз – под действием силы тяжести.

Таким образом, в системе имеются все элементы, необходимые для поддержания автоколебаний:

- 1) колебательная система особого вида, когда упругий элемент отсутствует, а его роль выполняет сила тяжести, возвращая массу в положение равновесия;
- 2) источник энергии – привод батареи;
- 3) обратная связь, обеспечиваемая движением вала вниз, когда он образует впадину на бумажном листе, являющуюся источником движения вверх.

Количество энергии, поступающее от привода машины к валу, определяется скоростью бумажного полотна, размерами и формой впадин, а расстояние между впадинами, зависящее от скорости машины, – частоту автоколебаний вала.

Таким образом, движение вверх происходит за счёт силы взаимодействия вала и боковой поверхности впадины при горизонтальном движении листа, обеспечиваемого приво-

дом батареи. Вертикальная скорость при этом зависит от формы впадины и скорости машины. Опускаясь вниз, вал снова образует впадину, и процесс принимает автоколебательный характер.

Колебания других валов батареи будут складываться из вынужденных с частотой колебаний верхнего вала и автоколебаний, возбуждаемых аналогично изложенному, с той лишь разницей, что частота будет зависеть от положения вала в батарее.

Представим форму впадины в виде синусоиды с длиной полуволны равной $2e$. Максимальная глубина впадины $-y_0$. Изменение по длине выразится зависимостью

$$y = y_0 \sin \frac{\pi x}{2e}.$$

Определим вертикальную скорость вала, возникающую при его движении по наклонному участку впадины, где V – скорость бумажного полотна:

$$V_s = \frac{dy}{dt} = \frac{dx}{dt} \frac{dy}{dx} = V \frac{dy}{dx} = V y_0 \frac{\pi}{2e} \cos \frac{\pi x}{2e}.$$

Максимальная вертикальная скорость равна $V_{s \max} = V y_0 \frac{\pi}{2e}$.

Так как вал отрывается от листа, то можно найти время его подъёма и опускания

$$t = 2 \frac{V_{s \max}}{g}.$$

По известной скорости машины определяется расстояние между впадинами $S = Vt$ и частота колебаний вала $n = \frac{1}{t} = e \frac{g}{\pi} V y_0$.

Если форму впадин представить с прямолинейной наклонной поверхностью, то изменение высоты впадины по длине будет: $y = y_0 \frac{x}{e}$, где e – половина ширины впадины. Вертикальная скорость в этом случае равна: $V_s = V \frac{y_0}{e}$, а частота колебаний: $n = \frac{eg}{2} V y_0$.

Экспериментальными измерениями установлено, что глубина впадин находится в пределах 7 - 10 % от толщины листа до каландра (0,15 мм).

Определим частоты колебаний по полученным зависимостям для двух форм впадин при скорости бумажного полотна 9,08 м/с и половиной длины впадины $3,4 \cdot 10^{-3}$ мм.

1. Синусоидальная форма впадины.

- Изменение толщины листа 10% ($y_0 = 15 \cdot 10^{-3}$ мм); $n = 73,3$ Гц;
- Изменение толщины листа 7% ($y_0 = 10,5 \cdot 10^{-3}$ мм); $n = 104,7$ Гц.

2. Впадина с прямолинейным уклоном.

- Изменение толщины листа 10% ($y_0 = 15 \cdot 10^{-3}$ мм); $n = 117,7$ Гц;
- Изменение толщины листа 7% ($y_0 = 10,5 \cdot 10^{-3}$ мм); $n = 164$ Гц.

Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными. Например, при скорости машины 545 м/мин (9,08 м/с) измеренная частота равнялась 80 Гц. Она лежит между 73,3 и 104,7 Гц для синусоидальной формы впадины и изменении толщины листа от 10 до 7%.

Экспериментально установлено, что с увеличением скорости машины (бумажного полотна) растёт частота колебаний. Вычисления были сделаны для известной скорости машины и известных размерах впадин на этой скорости.

При изменении скорости от 545 до 700 м/мин частота увеличилась с 80 до 100 Гц, практически пропорционально изменению скорости. При изменении скорости размеры впадин (ширина, глубина и форма боковой поверхности) изменятся, поэтому нельзя теоретически определить частоту по скорости машины.

Анализ колебаний системы валов

Для анализа колебаний каландровой батареи как системы валов выполнено приведение масс и жесткостей к точкам, соответствующим наибольшим амплитудам колебаний, то

есть к серединам валов. Распределённая масса каждого вала заменена сосредоточенной в точке приведения с соблюдением равенства кинетических энергий.

Рассматриваются два вида концевых условий: шарнирные опоры и свободные концы. Формы прогибов для шарнирно опёртого вала

$$Y_i = \sin \frac{i\pi x}{l}.$$

Для вала со свободными концами:

$$Y_i = \cos \alpha_i x - \sin \alpha_i x - \delta_i (ch \alpha_i x + \cos \alpha_i x) + e^{\alpha_i x}.$$

Приравнявая значения кинетических энергий, для шарнирно-опёртого вала получим:

$$\int_0^l \left(\frac{dY_i}{dt} \right)^2 \frac{q}{l} dx = m_{ш} \left(\frac{dY}{dt} \right)^2,$$

где $m_{ш} = \frac{ql}{2g}$ – приведённая масса вала с шарнирными опорами. Приведённая масса для вала со свободными концами $m_c = \frac{ql}{4g}$.

Заменим жесткость каждого вала приведённой, соблюдая равенство кинетических энергий. Для шарнирно опёртого вала получим

$$\int_0^l \left(\frac{d^2 Y_i}{dx^2} \right)^2 \frac{El}{2} dx = 0,5 C_{ш} Y_i^2$$

где $C_{ш} = \frac{EI(i\pi^4)}{2l^3}$ – приведённая жесткость вала с шарнирными опорами.

Для вала со свободными концами приведённая жесткость: $C_{ш} = \frac{EI(\alpha_i l)^4}{4l^3}$.

Подобным образом определяется приведённая жесткость бумаги. Для вала с шарнирными опорами $C_{шб}$

$$\int_0^l C Y_i^2 dx = C_{шб} Y_i^2,$$

$$C_{шб} = \frac{Cl}{2}$$

где C – жесткость бумаги. Для вала со свободными концами приведённая жесткость бумаги

$$C_{сб} = \frac{Cl}{4}.$$

Составим схему для системы валов – каландровой батареи. Обозначим m_i – приведённая масса i -го вала, $C_{i,i+1}$ – приведённая жесткость i -го вала и бумаги между i -м и $i+1$ валами.

Определим значения кинетической и потенциальной энергий:

$$T = \frac{1}{2} \sum_1^6 m_i \dot{y}_i^2$$

$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_1^6 C_{i,i+1} (y_i - y_{i+1})^2,$$

где y_i – обобщённая координата.

Подставим значения T и Π в уравнения Лагранжа

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{y}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial y_i} = 0$$

где $L = T - \Pi$ – функция Лагранжа.

Получим однородную линейную систему дифференциальных уравнений второго порядка:

поведением реальной системы, поэтому есть возможность анализа и назначения условий для ослабления колебаний.

Библиографический список

1. Ден Гартог, Дж.П. Механические колебания / Дж.П. Ден Гартог. – М.: Физматгиз, 1960.
2. Диментберг, Ф.М. Изгибные колебания вращающихся валов / Ф.М. Диментберг. – М.: АН СССР, 1959.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

B. F. Baleyev

SELF-SUSTAINED OSCILLATIONS OF CALENDER ROLL SETS

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

The mechanism of self-sustained oscillations and free vibration of calendar rolls are studied. Natural oscillation frequencies and vibration modes are discovered. The accepted model allows analyzing the system behaviour.

Key words: self-sustained oscillations, free vibrations, natural frequencies.

УДК 621.791.754

П.Л. Жилин¹, Б.П. Конищев¹, С.А. Лебедев²**ИССЛЕДОВАНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА СВАРКИ В CO₂ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ХОЛОДНОЙ ПРИСАДКОЙ**Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексева¹
ООО «Даниели Волга»²

Рассмотрено исследование увеличения качества процесса сварки в CO₂ с дополнительной присадочной проволокой, подающейся в хвостовую часть расплавленной ванны в холодном виде. Исследовалось влияние ДПП на качество полученного валика. Проводилось микроскопическое исследование сварного соединения. В итоге, при использовании ДПП качество сварного шва значительно выше при лучшем внешнем виде сварного шва и увеличении производительности.

Ключевые слова: полуавтоматическая сварка, сварка в среде CO₂, углеродистая сталь, дополнительная холодная проволока, сварка с дополнительной присадкой, улучшение качества шва, микроскопическое исследование.

Для своевременного выявления дефектов необходим тщательный и систематический контроль сварных соединений на всех стадиях производства сварки.

Микроструктурный анализ позволяет изучить строение металлов и сплавов с помощью микроскопа. Он определяет структуру наплавленного металла, основного металла и зоны термического влияния, примерное содержание углерода в наплавленном металле, перегрев и пережог, выгорание отдельных элементов, микротрещины, микропоры, шлаковые включения и т. п.

В данной работе представлены результаты исследований по увеличению качества процесса сварки в CO₂ с дополнительной холодной присадкой.

Сварка проводилась на пластинах Ст3 сп размерами 100x60x10 с V-образной разделкой кромок на универсальной установке для автоматической сварки АДС-1 производства завода сварочного оборудования «Технотрон» (г. Чебоксары).

Образцы для металлографического анализа были изготовлены согласно требованиям руководящего документа РД 24.200.04-90[4]. Исследование проводилось на оборудовании AxioImager A1m совместно с аппаратно-программным комплексом (АПК) "ВидеоТест - Металл".

При сварке в CO₂ использовали проволоку Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. В качестве дополнительной холодной присадки применяли такую же проволоку (рис. 1).

Увеличение производительности сварки за счет введения ДПП

Было произведено исследование по увеличению производительности сварки в V-образную разделку кромок стальных пластин из стали Ст3 сп, толщинами 10 мм. При введении ДПП в хвостовую часть сварочной ванны удается снизить количество заполняющих проходов с трех до двух, тем самым увеличив производительность сварки в 1,5 раза. Графически схема заполнения разделки представлена на рис. 3. Корневой шов в расчет не берется.

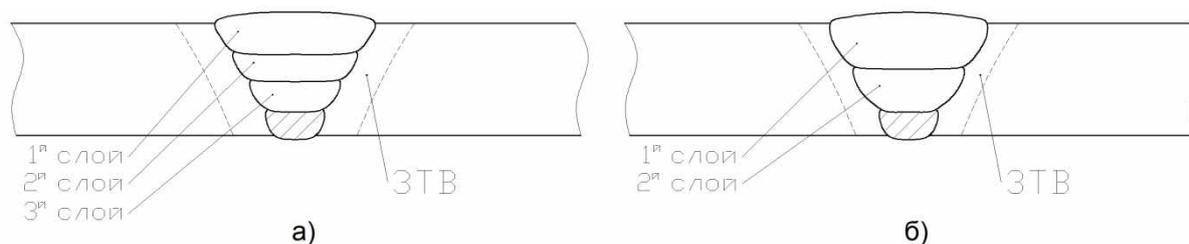


Рис. 1. Схема процесса сварки пластин:
a – одной электродной проволокой; *б* – с ДПП
Макрошлифы сварных соединений

На рис. 2 представлены фотографии макрошлифов, выполненных одной проволокой и с ДПП. Наглядно видим уменьшение зоны термического влияния (ЗТВ) при сварке с ДПП.

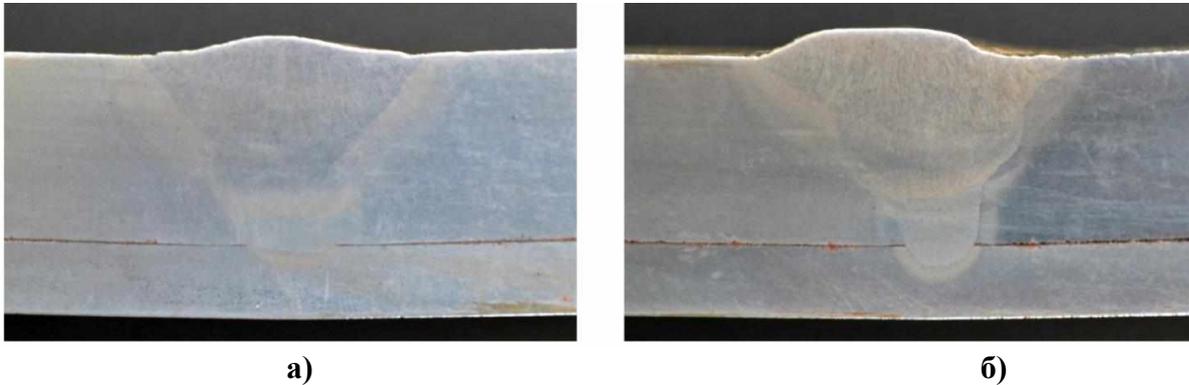


Рис. 2. Макрошлифы сварных соединений:
a – без ДПП; *б* – с ДПП

Микрошлифы сварных соединений

На рис. 2 и рис. 3 представлены фотографии микрошлифов, выполненных одной проволокой (*a*) и с ДПП (*б*). Наглядно видим уменьшение микропор при сварке с ДПП.

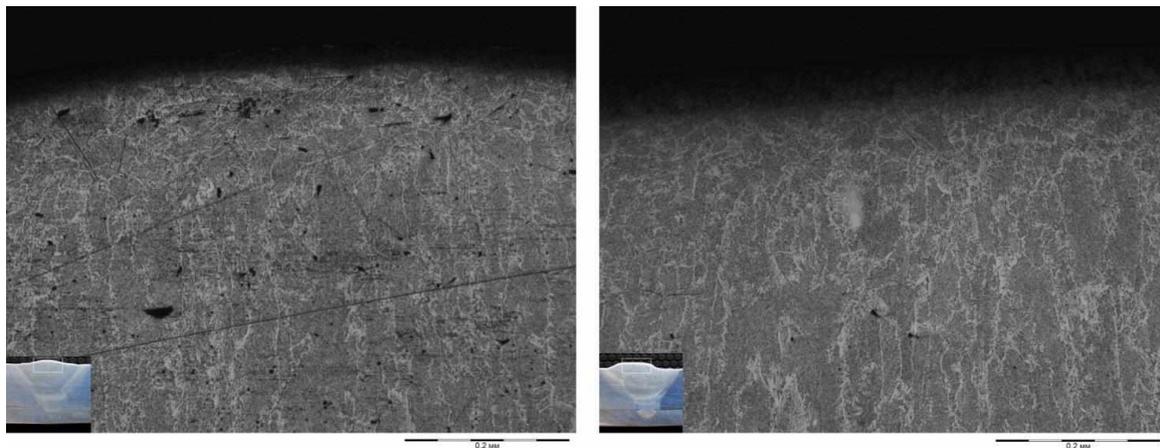


Рис. 2. Микрошлифы верхней части шва:
a – без ДПП; *б* – с ДПП

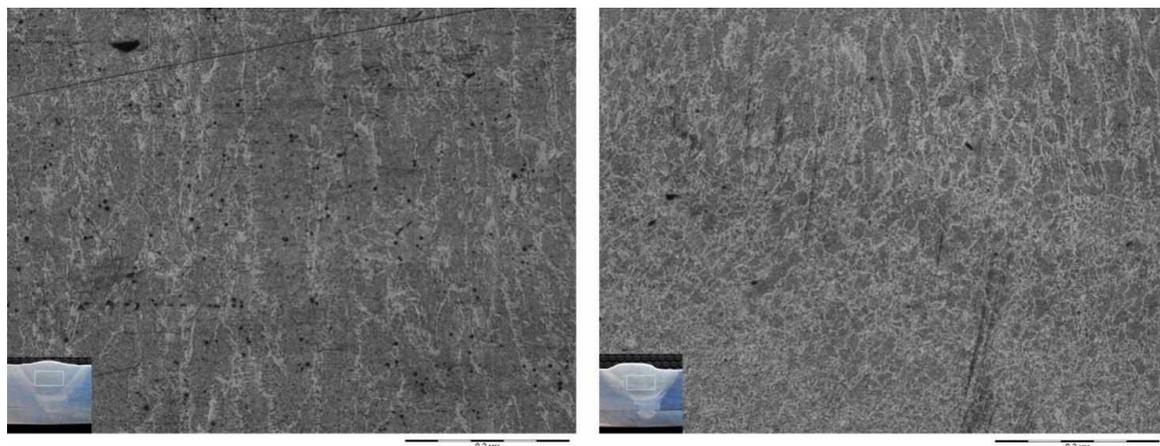


Рис. 3. Микрошлифы середины шва*a* – без ДПП; *б* – с ДПП**Выводы**

В итоге проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Анализ полученных данных и их зависимостей показывает, что при неизменном основном режиме ($I_{св}=220\text{А}$, $U=37\text{В}$, $V_{п.п.1}=5\text{ м/мин}$):

При введении ДПП в количестве $P=0,5$ уменьшается количество микропор в верхней части шва с 60 до 6, изменение составляет 90%;

При введении ДПП в количестве $P=0,5$ уменьшается количество микропор в центральной части шва с 93 до 7, изменение составляет 92%;

При введении ДПП в количестве $P=0,5$ наблюдается уменьшение ЗТВ с 2,5 до 2 мм, изменение составляет 20%.

Таким образом, с введением ДПП, подаваемой в хвостовую часть сварочной ванны, увеличивается качество сварного соединения, а также уменьшается зона термического влияния.

2. При введении ДПП в хвостовую часть сварочной ванны удается снизить количество заполняющих проходов с трех до двух, тем самым увеличив производительность сварки в 1,5 раза.

Библиографический список

1. **Сидорина И.И.** Основы материаловедения / И.И. Сидорина. – М.: Машиностроение, 1976. – 436 с.
2. **Новожилов Н.М.** Основы металлургии дуговой сварки в газах / Н.М. Новожилов. – М.: Машиностроение, 1979. – 239 с.
3. **Ханапетов М.В.** Сварка конструкций с дополнительной порошкообразной присадкой / М.В. Ханапетов. – М.: Стройиздат, 1992. – 192 с.
4. Руководящий документ РД 24.200.04-90. Швы сварных соединений. Металлографический метод контроля основного металла и сварных соединений химнефтеаппаратуры.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

P.L.Zhilin¹, B.P. Konishchev¹, S.A. Lebedev²

RESEARCH ON QUALITY IMPROVEMENT OF CO₂-SHIELDED WELDING WITH AN ADDITIONAL COLD FILLER

The Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alexeev¹,
«Danieli Volga», LLC²

This article deals with a research quality improvement of CO₂-shielded welding with an additional filling wire (hereinafter additional filler), supplied cold to the tail unit of the molten bath. An influence of the DPP on the quality of the resulting roll were investigated. Microscopic examination of the weld were conducted. As a result, using a DPP significantly increased weld quality with the best appearance of the weld and increasing productivity.

Key words: semi-automatic (manual) welding, CO₂-shielded welding, carbon (simple) steel, additional cold wire, welding with an additional filler, additional filler feeding rates optimization, welded joint quality improvement, welding deformations decrease, welding productivity increase.

УДК 620.178.3:620.194.8

А.А. Дербенев

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ХОЛОДНОЙ ВЫСАДКИ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлена апробация метода прогнозирования основных показателей упрочнения изделий, изготовленных многооперационными процессами холодного деформирования, основанного на применении микроструктурного анализа локальных зон изделий, математическом моделировании процессов изготовления изделий и построения обобщенных кривых упрочнения применяемых металлов. В качестве объектов исследований были рассмотрены многооперационные процессы холодной высадки крепежных изделий: гайки М18 из стали 10кп, болта М10 и фланцевого болта М10 из сталей 10кп и 20Г2Р. Для прогнозирования показателей упрочнения были использованы обобщенные кривые упрочнения металла, построенные по методике, основанной на применении методов твердости и микроструктурного анализа Г.А. Смирнова-Аляева.

Ключевые слова: кривые упрочнения, микроструктурный метод, итоговая деформация, многопереходные процессы, холодная высадка.

Вопросы оценки и прогнозирования упрочнения металла, полученного в процессе холодной обработки давлением, являются актуальной проблемой и рассматриваются при анализе действующего или вновь проектируемого технологического процесса.

Ранее была изложена методика усовершенствования построения экспериментальных обобщенных кривых упрочнения, основанная на совместном применении методов твердости и микроструктурного анализа с применением оптической цифровой микроскопии и расчетного математического программного пакета [1–3]. Это позволило в данной работе предложить апробацию метода прогнозирования показателей деформационного упрочнения металла для подтверждения применимости разработанной методики относительно многооперационных процессов холодного деформирования.

Предлагаемая методика содержит следующие этапы:

1. Выбор исследуемых зон в объеме металлоизделия.
2. Испытание исходной заготовки (проволоки) на одноосное растяжение, построение кривой упрочнения металла и определение его предела
3. Создание 3-мерных моделей инструмента, заготовки и математическое моделирование процесса высадки по переходам, с учетом полученной кривой упрочнения, с целью:
 - определения положения исследуемых зон в исходной заготовке и на ее переходах высадки и задание их размерами;
 - получения картин напряженного и деформированного состояния металла и определение по ним интенсивностей деформации и напряжений в исследуемых зонах.
4. Получение заготовок по переходам высадки, их электроэрозионная резка по продольной оси и изготовление шлифов, а также продольного шлифа исходной проволоки.
5. Выполнение микроструктурного анализа по методу Г.А. Смирнова-Аляева на шлифах переходов в обозначенных зонах на основе цифровой микроскопии с применением специализированного программного пакета, и получение результатов в виде значений компонентов деформации: главных деформаций, интенсивности деформации и ее вида согласно коэффициенту В. Лоде.
6. Замеры микротвердости на шлифах переходов в обозначенных зонах и их перевод в значения напряжений текучести по выражению Г. Деля.

7. Построенные зависимости упрочнения металла исследуемых зон в координатах «степень деформации - напряжение текучести» (рис. 1 и рис. 2). По горизонтальной оси откладываются значения интенсивностей деформированного состояния металла по переходам с учетом их арифметического суммирования. По вертикальной оси указываются напряжения с учетом соотношения между временным сопротивлением при растяжении и твердостью материала по Г. Делю. Дополнение графика зависимостей кривой упрочнения, полученной при испытаниях металла на растяжение.

8. Определение общей степени деформации за весь технологический процесс в каждой исследуемой зоне и проведение анализа по возможности ее повышения либо за счет изменения технологии либо путем применения нового материала.

Определение деформированного состояния может осуществляться математическим моделированием или экспериментальным микроструктурным методом Г.А.Смирнова-Аляева, которые, как было доказано, однозначно оценивают итоговую степень деформации металла в отдельной материальном объеме изделия за весь технологический процесс [4–6]. Ее значение, для многооперационного процесса, определяется арифметической суммой степеней деформации отдельных операций, величины которых численно равны интенсивностям их главных деформаций [7].

Исходя из изложенного, для апробации предложенного направления по оценке и прогнозированию упрочнения металла штампуемых изделий, были проведены структурно-деформационные исследования металлов изделий, изготавливаемых многооперационными процессами холодного деформирования, в частности холодной высадки.

Методика проведения эксперимента

В качестве объекта исследования был выбран болт М8 с головкой типа TORX из стали 20Г2Р, изготавливаемый холодной высадкой (рис. 1).



Рис. 1. Изделие болт М8 типа «TORX» из стали 20Г2Р

Методика исследований включила определение деформированного состояния металла объема высаженного изделия с применением специализированного программного комплекса DEFORM-3D и микроструктурного анализа металла.

Характеристика деформированного состояния металла объема высаженных изделий показана в виде его картин (рис. 2)

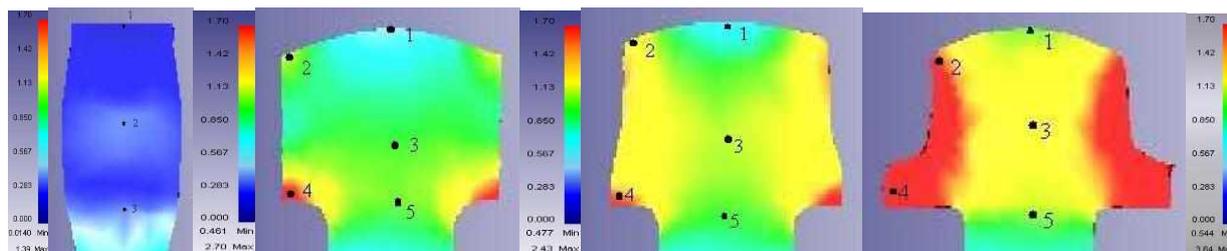


Рис. 2. Деформированное состояние металла заготовки болта типа TORX

Структура металла высаженного изделия в характерных зонах (указаны точками на рис. 1) представлена в табл. 1.

Таблица 1

Структура металла высаженного изделия в характерных зонах

<i>№ точки</i> <i>№ перехода</i>	<i>Точка №1</i>	<i>Точка №2</i>	<i>Точка №3</i>	<i>Точка №4</i>	<i>Точка №5</i>
<i>I переход</i>					
<i>II переход</i>					
<i>III переход</i>					
<i>IV переход</i>					

Для стали 20Г2Р на рис. 3 приведены обобщенные зависимости деформационного упрочнения. Они были построены согласно методики, основанной на применении методов твердости и микроструктурного анализа с применением оптической цифровой микроскопии и расчетного математического программного пакета [3].

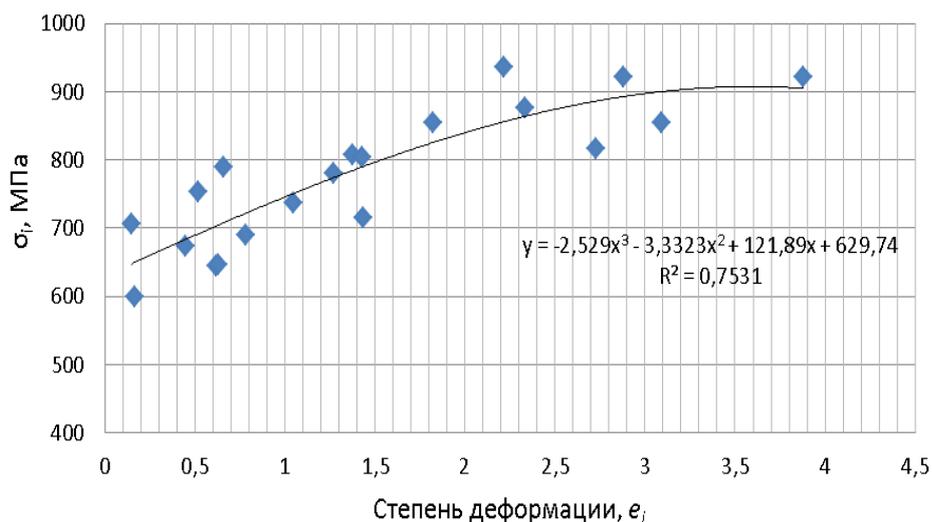


Рис. 3. Обобщенная кривая упрочнения $\sigma_i - e_i$ стали 20Г2Р (формула на поле кривой – математическое ее выражению и R - достоверность ее аппроксимации)

Полученные зависимости описываются полиномом третьей степени и имеют пороги упрочнения для металлов: сталь 10 - $\sigma_i = 750 \div 800$ МПа при $e_i = 2,9$; сталь 20 - $\sigma_i = 920 \div 950$ МПа при $e_i = 2,9$; сталь 20Г2Р - $\sigma_i = 900 \div 920$ МПа при $e_i = 2,2$.

Результаты экспериментов

Анализ деформированного состояния металла высаженных изделий показал значительную его неоднородность в различных зонах посадки.

Центральная зона головки деформирована со степенью деформации $e_i = 0,8-1,5$, при этом меньшее значение соответствует верхней его поверхности. Наибольшая степень деформации $e_i = 2,5-3,0$ соответствует боковым его поверхностям по зоне фланца. По месту перехода головки в стержень степень деформации равна $e_i = 0,5$.

В случае изменения марки материала, в частности при изготовлении изделия из стали 20Г2Р, можно прогнозировать повышение прочностных характеристик, так как порог упрочнения данного материала соответствует меньшей степени деформации $e_i = 2,2$ при большем упрочнении $\sigma_i = 920-940$ МПа. Его центральная зона имеет упрочнение $\sigma_i = 800-850$ МПа, что ниже возможного повышения до $\sigma_i = 900-920$ МПа. Это свидетельствует о ресурсе его повышения за счет изменения технологии посадки, включающей увеличение числа операций.

Неоднородность деформированного состояния высаженного изделия подтверждается микроструктурным анализом, в частности изменением текстуры исходной заготовки – проволоки, полученной волочением. По верхней поверхности изделия и по месту перехода головки в стержень текстура исходной проволоки практически не изменилась и сохраняет осевое направление, в отличие от зоны фланца.

В целом результаты подтверждают возможность оценки и прогнозирования упрочнения металла изделий, полученных многооперационными процессами холодного деформирования, направлением основанным на применении обобщенным кривым упрочнения используемых материалов совместно с определением деформированного состояния изделий.

Выводы

1. Проведена апробация метода прогнозирования деформационного упрочнения металла изделия, изготовленного многооперационным процессом холодного деформирования, на основе применения обобщенных кривых упрочнения используемых материалов, полученных с применением микроструктурного метода и математического моделирования.

2. Дана оценка упрочнения холодно высаженного крепежного изделия из стали 20Г2Р. Определен ресурс возможного его повышения в зависимости от марки используемого материала и особенностей технологического процесса изготовления.

Библиографический список

1. **Галкин, В.В.** Развитие микроструктурного метода исследования конечных пластических деформаций // В.В. Галкин, С.А. Кудрявцев, Е.Г. Терещенко // Заготовительное производство. 2010. № 2. С. 22–24.
2. **Галкин, В.В.** К вопросу построения экспериментальных зависимостей интенсивности напряжений металла от степени деформации // В.В. Галкин, С.А. Кудрявцев, Е.Г. Терещенко, А.А. Дербенев // Заготовительное производство. № 11. 2013. С. 23–27.
3. **Филинов, М.В.** Повышение точности количественных оценок поверхностных дефектов и структур металлов по их цифровым изображениям в оптическом неразрушающем контроле: автореферат на соискание ученой степени д.т.н. / М.В. Филинов. НИИ Интроскопии МНПО «СПЕКТР», 2007. – 56.
2. **Смирнов-Аляев, Г. А.** Сопротивление металлов пластическому деформированию / Г. А. Смирнов-Аляев. – Л.: Машиностроение, 1978. – 386 с.

4. Дель, Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости / Г.Д. Дель. – М.: Машиностроение, 1971.
5. **Ильюшин, А.А.** Сопротивление материалов / А.А. Ильюшин, В.С. Ленский. – М.: Физматгиз. 1959. – 371 с.
6. **Галкин, В.В.** Методика расчета конечных пластических деформаций металлоизделий, изготовленных много переходными процессами холодной объемной штамповки // В.В. Галкин, С.А.Кудрявцев, Е.Г. Терещенко, А.А. Дербенев // Заготовительное производство. 2012. № 9. С. 23–27.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A. A. Derbenev

THE METHOD OF FORECASTING INDICATORS OF STRAIN HARDENING OF THE METAL IN THE PROCESS OF COLD HEADING FASTENERS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R. E. Alexeev

Presents a tested method of predicting the main indicators of the hardening products manufactured multistage processes of cold deformation, based on the application of microstructural analysis of local areas of products, mathematical modeling of processes of manufacturing and construction of generalized curves hardening of the applied metals. As objects of research were considered multistage processes cold heading fasteners: nuts M18 steel 10kp, and flange bolts M10 bolts M10 steel 10kp and GR. To predict performance of hardening were used generalized curves hardening of metal, constructed by the method based on application of methods of hardness and microstructural analysis G.A.Smirnova-Aleeva.

Key words: curves hardening, microstructure method, the resulting deformation, multi processes, cold landing.

УДК 620.178

О.С. Кошелев, С.В. Иванов, Е.В. Чесноков

АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЕЧАЕК

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Дается краткий обзор существующих методов изготовления обечаек различных форм. Приводится их сравнительный анализ. Предлагаются технология изготовления обечаек методом свертывания и универсальная установка для получения обечаек сложных форм.

Ключевые слова: конические обечайки, обечайки сложной формы, процесс свертывания, обработка давлением, ротационная вытяжка, штамповка, гибка.

Обечайки различных форм находят широкое применение во многих отраслях промышленности – нефтегазовой, химической, авиа-, ракето-, судостроении, машиностроении и других.

Наибольшее распространение эти изделия получили в самолето- и ракетостроении. Связано это с малым коэффициентом лобового сопротивления изделий определенной формы при их движении в воздушных или жидкостных средах.

Так, корпус ракеты делится на переднюю головную (носовую), среднюю цилиндрическую и заднюю кормовую (или хвостовую) части [1].

Наиболее распространенными формами головной части ракеты являются коническая, оживальная и параболическая. Образующей конической головной части является прямая, оживальной – дуга из частей окружностей, а параболической – дуга параболы.

В ходе исследований выяснилось, что оживальная форма имеет наилучшие из указанных форм аэродинамические характеристики, но при этом является достаточно сложной в изготовлении.

Применение оживальной формы для тел, движущихся в воздушной среде, началось в XIX веке; до этого артиллерийские снаряды и пули обычно имели сферическую форму. Преимуществами оживальной формы перед другими (конической, параболической и др.) являются:

- уменьшение сопротивления воздуха для снарядов, пуль и ракет при их движении в нём и связанное с этим увеличение дальности стрельбы;
- уменьшение за счёт специфических аэродинамических свойств нагрева головных частей этих изделий, что особенно важно для ракет и космических кораблей [2].

Цель настоящей работы – сопоставить существующие методы изготовления обечаек данной формы, провести их анализ с точки зрения трудоемкости технологических приёмов, качества получаемых обечаек, а так же предложить нового метода для получения изделий различных форм.

Изготовление деталей типа обечайка связано с трудностями получения большой разницы диаметров по высоте изделия, получения сложной формы при обеспечении единообразия эксплуатационных характеристик изделий.

Достаточно распространенными для получения подобного типа деталей малых размеров являются операции обработки резанием. Такой метод обеспечивает высокую точность готового изделия и качество поверхности, но при этом является неэффективным с точки зрения конечной стоимости изделия. Связано это с относительно низкой производительностью, малым коэффициентом использования материала и необходимостью применения дорогостоящего оборудования.

Распространенным является способ изготовления обечаек из листового материала комбинированным методом, который предусматривает следующие этапы:

- разрабатывается форма будущей обечайки. Рассчитывают основные характеристики: диаметр основания, высоту, радиус образующей дуги;
- разбивают готовое изделие на сегменты, как правило, 4 или 6. При этом уменьшение количества сегментов снижает трудоемкость из-за уменьшения количества деталей, необходимых для получения готового изделия, и количества сварных швов, но усложняет форму инструмента для получения сегмента;
- разрабатывают технологическую оснастку (вырубной и гибочный штампы) и на штамповочном оборудовании получают сегмент;
- разрабатывают приспособление для проведения сварочных работ. Устанавливают на него заготовки и обваривают будущее изделие;
- зачищают сварные швы, применяют различные методы для снятия внутренних напряжений и балансируют.

Основные недостатки метода:

- трудоемкость получения готового изделия;
- наличие большого количества сварных швов;
- неуниверсальность применяемого инструмента и оборудования (один штамп применим только для получения обечаек с одинаковыми характеристиками);
- низкая точность сварной конструкции (смещение заготовок вовремя сварки).

Еще одним методом получения обечаек является ротационная вытяжка или давяльно-обкатная обработка. Стоит отметить, что детали, изготовленные ротационной вытяжкой, имеют переменную толщину стенок обработанных концов. В комбинации с ротационной вытяжкой для получения сложной формы деталей можно применять дополнительные операции: прокатку, штамповку, сварку.

При ротационной вытяжке прямым способом наружный контур оправки должен повторять внутренний контур вытянутой детали с технологическими припусками, поэтому длина оправки должна быть больше длины детали, что усложняет конструкцию оправки, делает её тяжелой и дорогой, а наладку более трудоемкой.

Способ ротационной вытяжки рекомендуется для формоизменения тонкостенных и длинномерных цилиндрических деталей, а также всех типов деталей конической и оживальной форм.

Существенным недостатком данного способа в изготовлении конических обечаек является возникновение определенных трудностей с изготовлением вершины изделия.

Если к изделию предъявляются повышенные требования, связанные с формой, шероховатостью и прочностью, то задача получения обечайки усложняется на порядки.

На сегодняшний день самым распространённым способом получения таких изделий является изготовление на трех- и четырехвалковых машинах (рис. 1) [3].

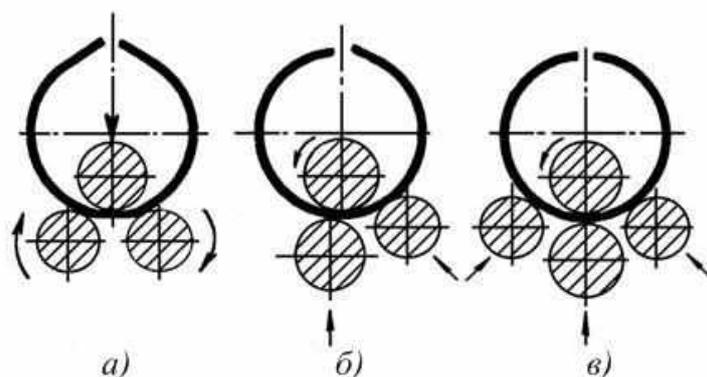


Рис. 1. Схемы гибки на листогибочных машинах:

a – с тремя валками расположенными симметрично; b – с тремя валками со смещением одного валка; c – с четырьмя валками

Такое оборудование применяется в основном для изготовления цилиндрических обечаек, но может быть использовано и для получения обечаек конической формы.

Суть метода заключается в следующем: подготовленная развертка будущего изделия устанавливается между тремя валками, зазор между которыми устанавливается в зависимости от необходимого радиуса гиба. После формообразования заготовка снимается с установки и обваривается стыковой шов.

Существенными недостатками данного метода являются:

- конечное изделие имеет усеченную форму;
- необходимость дорогостоящего оборудования;
- невозможность получения обечаек сложной (оживальной или параболической) формы.

Сокращение сроков освоения новых изделий, снижение себестоимости их изготовления и металлоемкости применяемой оснастки, является важным средством интенсификации технологических процессов изготовления изделий.

В связи со сказанным выше, для изготовления конических обечаек и обечаек сложной формы было предложено процесс гибки листового материала заменить процессом свертывания. Реализация данного способа предлагается на двухвалковых установках [4]. В развитии данного вопроса для изготовления обечаек сложной формы была разработана и предложена установка.

Предлагаемая технология изготовления обечаек методом свертывания включает в себя:

- определение геометрических параметров детали и разработка соответствующей развертки;
- выставление элементов установки с необходимыми характеристиками;
- монтаж развертки в установке;
- формообразование;
- обваривание изделия;
- съем готовой детали.

Предлагаемая установка состоит из основания, на котором с помощью болтов закреплены стойки, между которыми установлена регулирующая прокладка для изменения величины зазора при обработке заготовок различной толщины. В стойках установлены подшипники и валы верхнего и нижнего валков. Верхний рабочий валок выполнен из набора дисков разного диаметра таким образом, чтобы зазор между ними и дисками разного диаметра нижнего валка составлял величину толщины материала заготовки. При вращении верхнего рабочего валка обрабатываемый материал «наворачивается» на него и таким образом получается готовое изделие.

При применении данного метода и установки, по сравнению с известными способами, заметно снижается трудоемкость и повышается качество получаемого изделия ввиду:

- уменьшения числа заготовок, необходимых для получения одного изделия;
- универсальности применяемого оборудования;
- уменьшения количества сварных швов;
- уменьшения напряжений на поверхности изделия;
- относительной дешевизны оборудования, используемого для получения изделий;
- увеличения производительности.

Применение предлагаемого способа и разработанного оборудования при изготовлении обечаек сложной и конической форм окажет влияние на качество выпускаемой продукции и трудоемкость ее изготовления.

По результатам проведенного анализа и изучения существующих типов оборудования, после математического моделирования и проведения экспериментальных исследований, способ и модель, позволяющие его осуществить, патентуются в предусмотренном порядке.

Библиографический список

1. **Фернисс, Т.** История завоевания космоса. Энциклопедия космических аппаратов / Т.Фернисс. – М.: Эксмо, 2007
2. **Широкорад А. Б.** История авиационного вооружения / А. Б.Широкорад. – Харвест, 1999.
3. **Мошнин, Е.Н.** Гибка и правка на ротационных машинах / Е.Н. Мошнин. – М.: Машиностроение, 1967.
4. Пат. на полезную модель № 77807. Устройство для получения цилиндрических обечаек из металлического листа / О.С. Кошелев, В.В. Галкин, Ю.С. Просвирнин. Зарегистрирован 10.11.2008.
5. Пат. на полезную модель №80366, №80367. Листогибочная установка / О.С. Кошелев, В.В. Галкин, Ю.С. Просвирнин, Г.А. Истюков, О.Г. Ушаков. Зарегистрированы 10.02.2009

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

O. S. Koshelev, S. V. Ivanov, E. V. Chesnokov

ANALYSIS OF THE METHODS USED FOR SHELL PRODUCTION

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Brief overview on the methods of variously shaped shells manufacturing, discovering disadvantages and problems, and ways of solving them.

Methodology: Study and comparative analysis of the existing shell production methods.

Originality: New technology of shell manufacturing by means of the roll-up method and a universal production unit for shells of irregular shapes are suggested.

Key words: conical shells, irregularly shaped shells, rolling up process, pressure shaping, rotational draw shaping, die stamping, bending.

УДК 004.046

М.С. Трофимова, С.М. Трофимов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНСТРУМЕНТОВ
БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА TPM И SMED НА ПРИМЕРЕ
РАБОТЫ ОПЕРАТОРА-НАДАДЧИКА ПРЕССА FEINTOOL**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается применение на практике инструментов бережливого производства TPM и SMED, а также одна из основных проблем, с которой сталкиваются предприятия, строящие свои производственные системы на основе бережливого производства.

Ключевые слова: бережливое производство, всеобщий уход за оборудованием, быстрая переналадка, локальная оптимизация.

Среди множества инструментов бережливого производства для рассмотрения в данной статье были выбраны TPM и SMED.

TPM (Всеобщий уход за оборудованием) (англ. *Total Productive Maintenance*, TPM) — концепция менеджмента производственного оборудования, нацеленная на повышение эффективности технического обслуживания. Метод всеобщего ухода за оборудованием построен на основе стабилизации и непрерывного улучшения процессов технического обслуживания, системы планово-предупредительного ремонта, работы по принципу «ноль дефектов» и систематического устранения всех источников потерь [1].

Нередко на производстве наблюдается следующая ситуация: происходит поломка оборудования, поломку устраняют, оборудование работает дальше. При этом никто не задумывается о том, насколько часто происходит такая поломка и в чем коренная причина ее возникновения. Концепция TPM подразумевает в первую очередь изучение причин периодически повторяющихся поломок с целью поиска и устранения причины возникающих поломок. В результате значительного снижения общей продолжительности простоев увеличивается общая эффективность использования оборудования и, как следствие, производительность.

«Быстрая переналадка» (Single-Minute Exchange of Dies (SMED) – быстрая смена пресс-форм) – один из многих методов бережливого производства, представляющий собой способ сокращения издержек и потерь при переналадке и переоснастке оборудования. Представляет собой набор теоретических и практических методов, которые позволяют сократить время операций наладки и переналадки оборудования до 10 мин. Изначально эта система была разработана, для того чтобы оптимизировать операции замены штампов и переналадки соответствующего оборудования, однако принципы «быстрой переналадки» можно применять ко всем типам процессов [2]. По определению, время переналадки – время, прошедшее с выпуска последней годной детали предыдущей партии до выпуска первой годной детали следующей партии. Таким образом, деятельность по снижению времени переналадки сводится к следующему набору действий:

1. Разделение работ по переналадке на внутреннюю и внешнюю переналадку, а также на потери. При этом под внутренней переналадкой подразумеваются те действия, которые можно выполнить лишь при остановленном оборудовании (например, замена штампа), а под внешней – действия, которые можно выполнить во время автоматизированного производства деталей. Потерями являются те действия, которые не ведут к достижению цели, то есть замены штамповой оснастки (например, поиск инструмента), и должны быть либо вовсе устранены, либо максимально сокращены (нельзя полностью устранить переходы, но сменив компоновку рабочей ячейки можно их максимально сократить).

2. Сокращение времени, затрачиваемого на внутреннюю и внешнюю переналадку. При чем начинать следует именно с внешней переналадки. Как правило, у оператора-наладчика есть и другая выполняемая работа, а переход части работ из внутренней переналадки во внешнюю не снизит его нагрузку, поскольку теперь он будет делать то же самое, но при работающем оборудовании и в иной последовательности. Однако если в результате резкого снижения времени переналадок значительно была увеличена частота их проведения (с целью сократить запасы незавершенной продукции), занятость рабочего может значительно возрасти и превысить 100%, что приведет к невыполнению плана. Соответственно, в первую очередь при снижении времени переналадки за счет разделения работ на внутреннюю и внешнюю переналадку и, как следствие, при увеличении общего количества переналадок необходимо пересчитывать загруженность оператора-наладчика. Во вторую очередь необходимо снижать продолжительность действий по внутренней переналадке за счет использования различных устройств и приспособлений, например, болты можно заменить на пневмо- или гидрозажимы или эксцентрики.

Рассмотрим, с какими именно проблемами пришлось столкнуться при исследовании работы оператора-наладчика. Работа организована следующим образом: рабочий проводит наладку оборудования, пресс начинает автоматизированное производство деталей, получаемые детали поступают в галтовочный барабан, где проходят операцию «галтовка», после чего отправляются на последующие этапы производства. Разумеется, по каждой детали требуется поддерживать запасы, которые будут использоваться на последующих этапах, пока производятся другие детали номенклатуры.

Таким образом, по этим восьми типам деталей существуют запасы на 6 дней, в течение которых рабочий успевает осуществить восемь переналадок и пополнить запасы по каждой детали на ближайшие 6 дней. Переналадка длится более получаса (по регламенту на переналадку отводится 94,7 мин, при замере рабочий потратил 93'26").

Периодически происходят простои оборудования, в связи с чем не выполняется план. Наиболее часто простои случались из-за остановки транспортировочной ленты галтовочного барабана. При попадании в галтовочный барабан детали обрабатываются содовым раствором и абразивными элементами, при этом с деталей снимаются заусенцы и смывается масло. После обработки детали с помощью магнитного сепаратора извлекаются из галтовочного барабана, транспортируются по ленте в транспортировочную тару и отправляются на последующие этапы производства. Однако детали попадают под транспортировочную ленту, что вызывает простаивание оборудования. Продолжать работу можно лишь после снятия ленты, извлечения деталей (ставших непригодными для последующих этапов) и установки ленты обратно. После установки по бокам ленты накладок детали перестали попадать под ленту, простои по этой причине полностью исчезли. Еще одна проблема, связанная с галтовочным барабаном, заключалась в следующем: из-за нерегламентированной концентрации соды в растворе и частоты смены этого раствора на поверхности деталей оставалось масло, и их возвращали с последующих этапов на повторное прохождение галтовки. Это также влияло на невыполнение плана, но проблема была решена путем эмпирического нахождения нужных концентрации и частоты смены раствора, что устранило возврат деталей.

Далее был исследован процесс переналадки. В сумме время переналадки составило 93'26". Однако только на ожидание крана была потрачена почти половина часа (1798"). Для борьбы с этой проблемой сначала стал использоваться электропогрузчик, но ожидания крана превратились в ожидания погрузчика, в связи с чем была изготовлена тележка для штампа. Теперь рабочий с помощью крана заранее перемещает требуемый штамп на тележку, а во время переналадки извлекает штамп из пресса на вторую тележку и устанавливает штамп с первой тележки. При этом не используются ни кран, ни погрузчик (выполняют другую работу). Только за счет этого переналадка стала длиться немногим более часа.

Несколько меньшим по результативности было следующее предложение: перенести стойку с мерительными инструментами к тому месту, где рабочий их использует. За счет перемещения

стойки и визуализации инструмента (для каждого инструмента выделено и подписано конкретное место), время на перемещение и поиск инструмента было сокращено с 51 с до 3 с.

При работе пресса из металлической ленты вырубается заготовка, которая затем сдувается и попадает вместе с «выдрой» (отходами при прорубании отверстий) по склизу в защитный кожух, после чего детали отделяются от «выдры» и попадают в отдельную тару. Однако склиз на данном прессе был изменен по сравнению с заводской конструкцией, в связи с чем «выдра» стала попадать в пазы на нижней плите пресса. Из-за Т-образного строения пазов рабочий был вынужден тратить на извлечение «выдры» из пазов 417 с (почти 7 мин). После установки склиза, соответствующего заводской конструкции выдра практически перестала попадать в пазы, и рабочий стал тратить около 5 с на контроль, что «выдры» действительно нет.

По итогам удалось сократить время переналадки пресса более чем в 1,5 раза, что снизило запасы деталей с 6 до 4 дней. Общее количество времени, затрачиваемого на переналадку, не изменилось, за счет уменьшения времени переналадки увеличилось их общее количество. Именно для этого и создавался инструмент SMED – снизив время переналадки, максимально сократить запасы и увеличить количество переналадок.

Завершить статью хотелось бы мнением о «локальной оптимизации». Локальная оптимизация – основная проблема при использовании бережливого производства. Вместо поиска участка, где действительно тормозится производство и улучшения работоспособности этого этапа производства, производятся повсеместные попытки улучшений, которые приводят лишь к ненужным затратам и не приводят к увеличению прибыли. Когда Деминг говорил о непрерывных улучшениях, он не имел в виду улучшения всегда и везде. Деятельность по улучшению нужна только тогда, когда она действительно увеличивает прибыль предприятия, иначе потраченные на эти улучшения средства не несут никакого дохода и не имеют смысла, ведь любая коммерческая организация создается для получения прибыли. Всегда существует лишь один участок, который имеет производительность ниже, чем все остальные, и улучшения именно на этом участке и только на нем дадут ожидаемый результат. Деятельность по исследованию рассмотренных рабочих мест не привела к увеличению производительности, при этом лишь снизились запасы и высвободилась часть места, на котором находятся запасы. Хочется верить, что высвободившееся место будет использовано по назначению и приведет к увеличению прибыли предприятия.

Библиографический список

1. TPM (Total Productive Maintenance) Энциклопедия производственного менеджера// **Деловой портал «Управление производством»**. URL: <http://www.up-pro.ru/encyclopedia/total-productive-maintenance.html> (дата обращения: 17.11.2014)
2. Быстрая переналадка Википедия, 2014. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Быстрая_переналадка (дата обращения: 17.11.2014)

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

M. S. Trofimova, S. M. Trofimov

RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF TPM AND SMED LEAN PRODUCTION TOOLS EXEMPLIFIED BY “FEINTOOL” PRESSURE MACHINE (DIE) SET UP OPERATOR

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

This article deals with a practicable application of TPM and SMED lean production tools, as well as with one of the main problems that manufacturers come across when building their production systems on the lean production principles.

Key words: lean production, total productive maintenance, short (single minute) changeover, local optimization.

УДК 371.39

Е.А. Мезенцева, О.В. Кретинин

**ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА
ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГРУППЫ ДИСЦИПЛИН**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Цель статьи – показать целесообразность и актуальность методики проведения компьютерного контроля качества обучения и формирования модели оценки знаний с учетом различных критериев. Приведено и сравнено различное программное обеспечение для оценки знаний студентов, а так же разработка собственной программы для данных целей

Ключевые слова: методики обучения, системы компьютерного контроля знаний, анализ проведенных тестирований, TestEditor, OpenTest, MyTestX, робототехника, мехатроника.

В процессе изучения студентами дисциплин «Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике», «Средства автоматизации и управления», «Программное обеспечение мехатронных и робототехнических систем» и «Основы робототехники и мехатроники» актуально использование компьютерной системы контроля качества обучения, которая позволяла бы объективно оценивать знания обучаемых, а также обеспечивать реализацию адаптивных методов тестирования. Данный комплекс оптимально подходит для обучения основам робототехники и мехатроники. Методы максимально используют такие данные, как уровень подготовленности обучаемого, уровень беспокойства, правильность ответа и позволяют организовать контроль индивидуально для каждого обучаемого. Кроме того, важным аспектом является высвобождение времени преподавателя для совершенствования своей профессиональной деятельности и увеличение времени на индивидуальную работу с обучающимися.

Проблемы компьютерного контроля знаний (КЗ) обычно рассматриваются в двух аспектах: методическом и техническом.

Методические аспекты контроля знаний связаны с решением педагогических и психологических вопросов, то есть организация КЗ рассматривается с точки зрения дидактики.

К методическим аспектам относятся:

- выбор заданий для проверки знаний, умений и навыков обучаемого («что контролировать?»);
- планирование проведения контроля знаний («когда контролировать?»);
- определение требований к формированию набора контрольных заданий («как контролировать?»).

Определение типов и трудности вопросов для проверки знаний, умений и навыков обучаемых. Вопрос «что контролировать?» тесно связан с педагогической задачей самого процесса обучения. Как известно, основной вопрос дидактики «чему учить?» включает в себя определение цели обучения, что является важным и при создании компьютерной системы. При организации компьютерного КЗ также необходимо определить цели проводимого контроля на каждом этапе учебного процесса. Задача контроля - определение соответствия подготовленности обучаемого тому или иному уровню усвоения учебного материала. На этапе восприятия, осмысления, запоминания оценивается уровень знаний обучаемого о предметной области и понимания основных положений. Способность применять полученные знания для решения конкретных задач или в ситуации, требующей проявления познавательной са-

мостоятельности, оценивается как соответствие требуемым навыкам и/или умениям. Оценка качества знаний на каждом уровне (знания, умения, навыки) может быть осуществлена с помощью использования различных типов заданий. При разработке заданий для контроля важно установить, для проверки каких знаний, умений и/или навыков и для какого вида КЗ предназначено данное задание, а также сформулировать цели включения его в банк контрольных заданий.

2. Планирование проведения контроля знаний. Вопрос «когда контролировать?» связан с проблемой полноты проверки знаний и умений. Учебный процесс принято рассматривать как распределенный во времени процесс формирования требуемых знаний, навыков и умений. В данном случае оценивание происходит поэтапно и позволяет осуществить качественный и полный контроль. В зависимости от времени проводимой проверки различают четыре вида контроля знаний:

- исходный (предварительный) контроль (проводится непосредственно перед обучением, позволяет оценить начальный уровень знаний обучаемого и соответственно планировать обучение);
- текущий контроль (осуществляется в ходе обучения, позволяет определить уровень усвоения обучаемым отдельных понятий учебного материала и скорректировать дальнейшее изучение предмета);
- рубежный контроль (проводится по завершении определенного этапа обучения, служит для оценки уровня знаний обучаемого по теме или разделу курса);
- итоговый контроль (позволяет оценить знания, умения и навыки обучаемого по курсу в целом).

3. Определение требований к формированию набора вопросов и заданий для опроса. Учебный процесс с использованием компьютерных технологий может быть представлен как моделирование учебной деятельности, при которой компьютер выполняет ряд функций преподавателя, в частности, организацию диалога в виде сценария - алгоритма управления учебной и познавательной деятельностью обучаемого. Поэтому важным методическим аспектом контроля является формирование набора контрольных заданий, в зависимости от вида и цели контроля. Существуют различные методы формирования заданий для контроля: случайная последовательность вопросов и заданий разной сложности, трудности и значимости; специальный набор заданий различной сложности, сформированный для проверки определенного или комплексного уровня подготовки (знания, умения и/или навыки) и предъявляемый в заданной последовательности; набор заданий, предъявляемый в порядке нарастания уровня сложности; группа заданий, порядок выполнения которых выбирает сам обучаемый и др.

Технический аспект связан, в первую очередь, с проблемой реализации планируемого контроля знаний, с выбором подходящего алгоритма для оценки контрольных работ. К техническим аспектам относятся:

1. Формирование набора контрольных заданий на основе выбранного подхода. Данный аспект связан с непосредственной реализацией контроля и оценки знаний в компьютерной системе КЗ, с учетом цели и вида проводимого контроля. На основе выбранного метода формирования контрольных вопросов происходит автоматическая подготовка задания (или набора заданий) для контроля и выдача его обучаемому, то есть управление контролем реализуется путем генерации контрольных заданий с учетом различных параметров контроля знаний.

2. Выбор и использование в системе контроля параметров КЗ. Параметры контроля могут быть условно разделены на три группы:

- параметры, характеризующие отдельное задание,
- параметры, характеризующие работу обучаемого с набором контрольных заданий,
- параметры, используемые для настройки алгоритма, обычно задаются преподавателем, но могут иметь и заранее установленные значения.

3. Выбор алгоритма для оценки знаний обучаемого. Любой алгоритм оценки знаний

предусматривает сбор, анализ и/или преобразование данных, получаемых в процессе контроля, и, непосредственно, формирование самой оценки (суммы баллов, рейтинга, ранга). Различают алгоритмы, которые применяются для выставления оценки только по завершению контроля, то есть на последнем этапе процесса оценивания. Однако, большинство алгоритмов используются параллельно с контролем знаний, когда оценка может быть выставлена за выполнение отдельного задания, контрольной работы или по дисциплине в целом, при этом полученная оценка обязательно учитывается в используемом методе проведения КЗ.

Таким образом, для управления процессом компьютерного КЗ необходимо наличие, с одной стороны, методов проведения (организации) контроля, с другой стороны, методов и моделей оценки знаний, умений и навыков обучаемого по результатам выполнения им контрольных заданий.

Разработка тестовых материалов для любой формы тестирования (бланкового или компьютерного) должна удовлетворять определенным принципам, выработанным требованиями, правилам оформления и удовлетворять требованиям экспертов по оценке тестовых заданий.

Форма постановки тестовых заданий может быть разной, но чаще всего приходят к двум наиболее распространенным формам ТЗ:

- тестовое задание - логическое высказывание, на которое необходимо выбрать/ввести однозначное утверждение;
- тестовое задание - вопрос, на который также необходимо выбрать/ввести однозначный ответ.

Тестовое задание любого вида и формы имеет определенную структуру, которая позволяет выделить составные части тестового задания и придать определенный единообразный внешний вид при представлении различных тестовых заданий и открытого, и закрытого типов, придать определенный стиль и упорядочить работу, как по созданию тестовых заданий, так и при их выполнении. В компьютерном ТЗ можно выделить зоны:

- представления самого задания;
- предполагаемых вариантов ответа на задание (дистракторы);
- рекомендаций по выполнению задания;
- реакции системы на выполнение задания (сообщения системы, текущая статистика, общий результат работы);

Преимущества компьютерного тестирования перед традиционными формами:

Для педагога:

- обеспечение возможности оперативной проверки знаний большого количества обучающихся по разным темам, проверке материала по дисциплине в комплексе;
- высвобождение обучающего от выполнения повторяющейся трудоёмкой и рутинной работы по организации массового тестирования, высвобождение времени для творческого совершенствования разных аспектов его профессиональной деятельности;
- высвобождение времени педагога для разработки качественного методического обеспечения учебного процесса, в том числе и разработке тестовых заданий для компьютерного тестирования;
- своевременность реагирования на затруднения обучающегося при изучении материала позволяет быстро внести изменения в организацию образовательного процесса, пересмотра методики изложения материала, что должно повысить качество обучения;
- компьютерное тестирование по всему изучаемому материалу позволяет педагогу проконтролировать свою работу, полноту изложения материала в соответствии с программами и ГОС, что является одним из факторов повышения качества обучения;
- одним из важнейших достоинств применения компьютерных технологий тестирования в образовательном процессе является повышение педагогом своего профессионального уровня, как при разработке тестовых заданий, так и более глубоком рассмотрении предметного материала.

Для обучающегося:

- повышение объективности аттестации уровня учебных достижений и исключения субъективных факторов (усталость педагога и его эмоциональность или плохое настроение, отсутствие или недостаточность времени для личного общения педагога и обучающегося другое);
- обеспечение индивидуальности прохождения процедуры тестирования;
- предоставление оперативной, достоверной информации о знаниях, полученных в процессе обучения, и о готовности к восприятию нового материала;
- обеспечение доступности прохождения процедуры тестирования;
- обеспечение учета индивидуальности и выбора удобного времени прохождения процедуры тестирования;
- выбора самим обучающимся конкретного маршрута, уровня тестирования, соответствующего его начальной подготовленности, умению сосредоточиться, осмысленно выбирая свою адаптивную траекторию тестирования, что позволит рационально использовать время работы в системе;
- возможность подачи обучающимся апелляции и быстрого получения ответа со стороны системы тестирования и педагога при несогласии с результатами проведенного тестирования (возможность предложения своего варианта ответа на поставленный вопрос и рассмотрения совместно с педагогом несоответствия своего ответа и предлагаемого системой тестирования);
- предоставление возможности обучающемуся самопроверки освоения материала в том режиме работы, как это ему удобно (сетевой режим доступа к контролирующим системам и измерительным материалам);
- доступность и равноправие всех участников процедуры тестирования;
- получение полной и достоверной информации о результатах своей работы на разных этапах обучения и тестирования;
- возможность неоднократного проведения процедуры тестирования с целью самоконтроля изученного материала способствует развитию навыков самостоятельной работы, самооценки и самоактуализации обучающегося.

В процедуре компьютерного тестирования, безусловно, есть и недостатки. Главным недостатком представляется исключение речевого компонента в ответе обучающегося, невозможность оценить (или мы пока не видим способов) умение вести дискуссию, отстаивать свою точку зрения, это возможно лишь при непосредственном взаимодействии субъектов образовательного процесса. Но, скорее всего, необходим комплексный подход к организации процедур аттестации испытуемых. Тестирование должно подтверждаться коллективной формой аттестации в виде учебных конференций, диспутов, других форм общения.

Сведение к минимуму указанных недостатков компьютерных технологий обучения и тестирования достигается применением продуманной методики построения учебного процесса в компьютерной среде обучения с более активным использованием публичных выступлений обучающихся на семинарах, конференциях с результатами выполнения творческих работ.

Одной из наиболее важных задач при создании компьютерных средств учебного назначения является организация контроля знаний. При этом, анализируя сложившуюся ситуацию, можно сделать вывод, что на данный момент решение проблемы качественной оценки знаний, умений и навыков студентов при компьютерном обучении в большой степени связано с правильным выбором метода (или методов) организации и проведения контроля знаний, позволяющих получить достоверную оценку знаний учащихся, учитывая их индивидуальные способности.

Обзор существующих систем компьютерного тестирования

1. MyTestX

Программа MyTest разрабатывается Башлаковым Александром Сергеевичем с 2003 года. MyTestX - мощный комплекс программ для подготовки и проведения компьютерного тестирования.

С помощью программы MyTestX возможна организация и проведение тестирования, экзаменов в любых образовательных учреждениях (вузы, колледжи, школы) как с целью выявить уровень знаний по любым учебным дисциплинам, так и с обучающими целями. Предприятия и организации могут осуществлять аттестацию и сертификацию своих сотрудников.

2. TestEditor

Данный пакет программ функционирует под управлением операционной системы из семейства Windows. В состав пакета входят программы: редактор тестов (TestEdit), контролирующая программа (ControlTest); программа проверки результата тестирования (View).

Особенность комплекса программ состоит в том, что программа TestEdit позволяет создавать, а программа ControlTest - проигрывать тесты, реализующие механизм векторной оценки испытуемого, т.е. вопросы в тесте могут отличаться друг от друга важностью (значимостью) и сложностью, и это отличие может быть зафиксировано в тесте с помощью инструмента баллов (к описанию программы прилагается примерная методика расстановки баллов к вопросам, которой можно следовать, а можно изобрести свою).

3. OpenTest

В Харьковском национальном университете радиоэлектроники разработана и в течение нескольких лет в ряде учебных заведений Украины находится в эксплуатации система компьютерного тестирования знаний студентов OpenTEST. За это время система OpenTEST зарекомендовала себя с положительной стороны, особенно в ходе итоговых тестирований в учебном процессе в рамках Болонского соглашения.

OpenTEST 2.0 – это компьютерная система тестирования знаний, созданная для очного итогового контроля качества усвоения теоретического материала, приобретенных знаний и практических навыков обучаемых в крупных организациях со сложной распределённой структурой.

Библиографический список

1. Григорьев, Ю.В. Учет взаимодействия между студентами при обучающем контроле на ЭВМ // Информатика и образование. 2007. № 2. С. 7–9.
2. Грызлов, С.В. Компьютерные обучающие системы, построенные по принципу действия экспертно-обучающих систем: (Разработка и применение при обучении решению физических задач): дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – М., 1998. – 192 с.
3. <http://mytest.klyaksa.net/>
4. <http://testeditor.org/en/>
5. <http://opentest.com.ua/>

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

Е. А. Mezentseva, О. V. Kretinin

STUDIES OF THE AUTOMATED SYSTEM OF QUALITY EVALUATION OF TECHNICAL DISCIPLINES MATERIAL

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

The purpose of the article is to demonstrate a usable and applicable character of the methods of computerized monitoring of educational quality and forming of a knowledge level evaluation model basing upon various criteria. Different software meant for students' knowledge evaluation is considered and compared, and also a proper programme is written for this purpose.

Key words: educational method, computerized monitoring of educational quality, test results analysis, TestEditor, OpenTest, MyTestX, robotic engineering, mechatronics.

УДК 681.5

Р.А. Шабаров, О.В. Кретинин

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБМЕНОВ
МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Цель статьи – показать целесообразность и актуальность информационных обменов между различными автоматизированными системами с помощью формата STEP. Дана подробная характеристика стандарта данных STEP (ISO 10303), используемого для визуализации сложных моделей машиностроительных объектов, а также для обмена информацией. *Приведен* пример обменного файла формата STEP.

Ключевые слова: САПР, CAD/CAM/PDM – системы, формат STEP, Express/STEP технологии, передача и кодирование информации, преобразование графической информации.

В настоящее время на различных производственных предприятиях становится актуальным внедрение так называемой системы автоматизированного проектирования (САПР). САПР представляет собой автоматизированную систему, реализующую информационную технологию выполнения функций проектирования. Она представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности.

С помощью CAD-средств создается геометрическая модель изделия, которая используется в качестве входных данных в системах САМ и на основе которой в системах САЕ формируется требуемая для инженерного анализа модель исследуемого процесса.

В ходе внедрения данных систем существует ряд проблем, таких как:

- ограниченность применения разработанного программного обеспечения (поскольку решение специфично для каждой задачи);
- сложность замены одной из систем в случае необходимости;
- невозможность использования нескольких систем одновременно;
- зависимость работоспособности системы в целом от изменения в интерфейсе какой-либо из систем.

Рассматривая проблему передачи и кодирования информации, разработчики САПР изначально пытались представить эту задачу как совокупность условий для формирования однородных, связанных в графе, структур данных. В ином случае описатели таких структур необходимо было выводить последовательно, присваивая каждому перечисляемому элементу уникальный номер (идентификатор).

Первый способ хранения данных характерен для широкого круга CAD/CAM/PDM - систем, обеспечивающих не только быстрый ввод и вывод информации, но и передачу информации внутри системы, а также накопление и маскирование данных из внутренней базы данных (БД) по запросу. Такие перемещения информации характеризуются нулевой потерей данных. В других случаях, осуществляемых при межсистемном информационном взаимодействии, применяют последовательную запись примитивов передаваемых данных, при которой идентификатором является либо порядковый номер примитива, либо специальный уникальный индекс, которым дополнительно маркируется каждый примитив. Этот индекс указывает на местоположение данного примитива в общей структуре объекта. В свою очередь качественная логическая сущность примитива определяется его именем.

Таким образом, сочетание имени и уникального номера обеспечит полноту описания простейшего именованного узла объекта. Целый объект может иметь описания зависимостей и взаимодействия отдельных узлов – примитивов (IGES, STEP).

Для решения подобных проблем разработан международный стандарт ISO 10303 STEP (англ.: Standard for the Exchange of Product Model Data – стандарт обмена данными о модели изделия; русскоязычная версия – ГОСТ Р ИСО 10303), призванный определить единый способ обмена информацией между всеми системами, содержащими данные об изделии. Это позволит автоматизировать, в том числе, и взаимодействие любых PDM- и CAD-систем без дополнительных интегрирующих программ. Стандарт определяет форму представления данных в виде текстового обменного файла, имеющего строго регламентированную структуру и используемого для передачи данных между различными автоматизированными системами проектирования.

Настоящий стандарт – один из первых в семействе специализированных CALS- стандартов является характерным примером информационного стандарта нового поколения, по подобию которого строятся последующие CALS-стандарты (разработка института ISO). В соответствии с названием стандарта STEP определяется "нейтральный" формат представления данных об изделии в виде информационной модели. К данным об изделии относятся: состав и конфигурация изделия, геометрические модели разных типов, административные данные, специальные данные.

Стандарт STEP состоит из множества томов, разрабатываемых и публикуемых по отдельности. Утвержденные тома в печатном виде занимают тысячи страниц. Естественно, такой объемный стандарт нуждается в общем описании, которое наряду с общими определениями дано в томе ISO 10303-1. По сравнению со стандартом IGES стандарт STEP охватывает гораздо больший набор предметных областей. Он поддерживает немалое количество типов данных, что означает присутствие дополнительных требований к программным ресурсам, в первую очередь, по объему памяти. Существуют специальные автономные программные инструменты, позволяющие выполнить формальное описание и автоматизированную обработку формального описания типов данных.

Очевидно, что обе взаимодействующие системы должны поддерживать один и тот же формат представления данных в обменном файле. В MCAD обменные файлы в основном содержат информацию о чертежах и геометрических моделях изделий.

Наибольшее распространение в MCAD получили форматы IGES (стандарт ANSI), DXF (стандарт де факто, разработанный в компании Autodesk), формат STEP (стандарт ISO 10303.21). В файле стандарта IGES имеется заголовочная и основная части. В основной части имеется возможность описывать точки, линии, поверхности и (начиная с версии 4.0) твердые тела. В файле формата DXF имеются раздел для описания всех элементов кодируемого чертежа, блок команд, аналогичный дисплейному файлу, а также заголовок и описание типов элементов, стилей текста и т.п. В среде STEP возможны обмены через обменный файл и через базу данных SDAI. Особое место среди форматов занимает формат STEP. Express/STEP технологии мало распространены в практике российских фирм. В то же время, принципы, заложенные в них, весьма интересны именно для отечественного рынка. Практика автоматизации информационных процессов больших предприятий, как правило, редко может быть названа вполне успешной, несмотря иногда на большие капиталовложения. Express/STEP технология открывает путь к действительно успешной интегральной информационной поддержке производства.

На рисунке более подробно показаны основные определения, связанные с информационным описанием изделия (информационной моделью изделия) в STEP. В STEP предполагается, что изделие может описываться на следующих трех уровнях (рис. 1): - определение *definition* (41-й и 44-й тома STEP); - представление *representation* (43-й том STEP и другие

тома, содержащие описания отдельных видов представления, например, 42-й том – представление геометрии и топологии); - визуальное представление *presentation* (46-й том STEP). Этот уровень описания не является для STEP существенным, поскольку основное назначение STEP – построение доступных для компьютерной обработки моделей изделия. Тем не менее, в некоторых из протоколов STEP предусмотрены сущности, позволяющие описать особенности того, как должно строиться изображение изделия: чертеж и красочная полутоновая презентация.

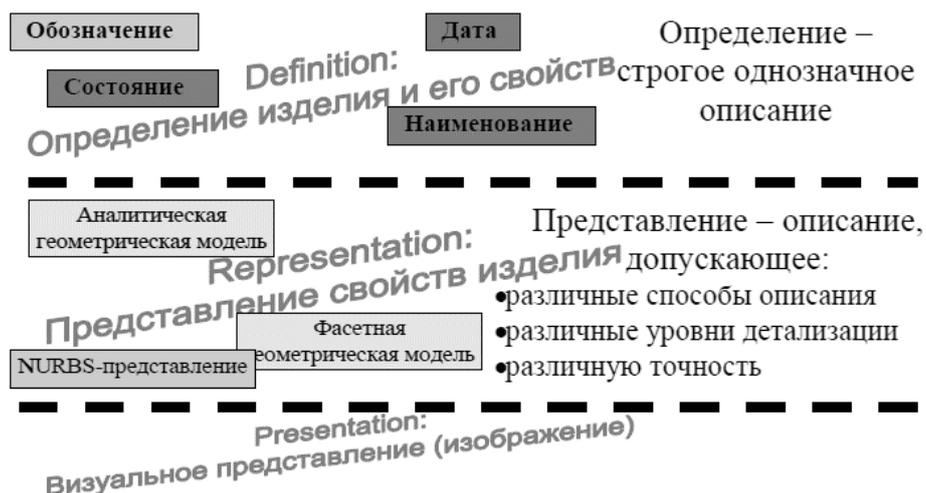


Рис. 1. Основные определения, связанные с описанием изделия в STEP

В STEP данные об изделии организованы следующим образом (рис. 2).



Рис. 2. Организация данных об изделии в STEP

В информационных ресурсах ISO 10303-41 содержатся сущности, необходимые для задания общего определения изделия.

Для обмена конкретными значениями атрибутов в STEP введен обменный файл (протокол ISO 10303-21). Файл состоит из головной и информационной секций. В головной секции (между служебными словами HEADER и ENDSEC) указываются:

Entityfile_name - имя и некоторые другие атрибуты данного конкретного обменного файла;

Entityfile_description - неформальное описание содержимого файла и требования к ПО для обработки данного файла;

Entityfile_schema - схемы, для которых далее даны экземпляры сущностей;

keyword (список типов).

В информационной секции (между словами DATA и ENDSEC) указываются имена экземпляров сущностей и значения их атрибутов в виде следующих строк:

#1 = POINT(0.0,0.2,0.5);(* экземпляр сущности типа POINT с именем 1, значения параметров 0, 0.2 и 0.5 типа REAL *)

#2 = WIDGET(.RED.);(* экземпляр сущности типа WIDGET с именем 2, значение перечислимого типа RED *)

...

#8 = LINE(#1,#4);(* значениями атрибутов являются экземпляры сущностей с именами 1 и 4 *)

В списке параметров значения перечисляются в том же порядке, в каком они фигурировали в описании сущности.

Пример обменного файла формата STEP

В качестве наглядного примера рассмотрим экспортированную в формат Step 3D модель детали «Цилиндр». Деталь имеет 2 плоские и одну цилиндрическую поверхность. На рис. 3 показан фрагмент файла программы в котором описано задание цилиндрической поверхности детали «Цилиндр».

```
#72=CYLINDRICAL_SURFACE('',#71,10.0);
#73=CARTESIAN_POINT('',(-10.0,20.0,1.224647E-015));
#74=VERTEX_POINT('',#73);
#75=CARTESIAN_POINT('',(0.0,20.0,0.0));
#76=DIRECTION('',(0.0,1.0,0.0));
#77=DIRECTION('',(1.0,0.0,0.0));
#78=AXIS2_PLACEMENT_3D('',#75,#76,#77);
#79=CIRCLE('',#78,10.0);
#80=EDGE_CURVE('',#74,#74,#79,.T.);
#81=ORIENTED_EDGE('',*,*,#80,-F.);
#82=EDGE_LOOP('',(#81));
#83=FACE_OUTER_BOUND('',#82,.T.);
#84=CARTESIAN_POINT('',(-10.0,0.0,1.224647E-015));
#85=VERTEX_POINT('',#84);
#86=CARTESIAN_POINT('',(0.0,0.0,0.0));
#87=DIRECTION('',(0.0,-1.0,0.0));
#88=DIRECTION('',(1.0,0.0,0.0));
#89=AXIS2_PLACEMENT_3D('',#86,#87,#88);
#90=CIRCLE('',#89,10.0);
#91=EDGE_CURVE('',#85,#85,#90,.T.);
#92=ORIENTED_EDGE('',*,*,#91,-F.);
#93=EDGE_LOOP('',(#92));
#94=FACE_BOUND('',#93,.T.);
#95=ADVANCED_FACE('',(#83,#94),#72,.T.);
#96=CARTESIAN_POINT('',(4.721282E-016,20.0,1.850372E-016));
#97=DIRECTION('',(0.0,1.0,0.0));
#98=DIRECTION('',(0.0,0.0,1.0));
#98=DIRECTION('',(0.0,0.0,1.0));
#99=AXIS2_PLACEMENT_3D('',#96,#97,#98);
#100=PLANE('',#99);
#101=ORIENTED_EDGE('',*,*,#80,.T.);
#102=EDGE_LOOP('',(#101));
#103=FACE_OUTER_BOUND('',#102,.T.);
#104=ADVANCED_FACE('',(#103),#100,.T.);
#105=CARTESIAN_POINT('',(4.721282E-016,0.0,1.850372E-016));
#106=DIRECTION('',(0.0,1.0,0.0));
#107=DIRECTION('',(0.0,0.0,1.0));
#108=AXIS2_PLACEMENT_3D('',#105,#106,#107);
#109=PLANE('',#108);
#110=ORIENTED_EDGE('',*,*,#91,.T.);
#111=EDGE_LOOP('',(#110));
#112=FACE_OUTER_BOUND('',#111,.T.);
#113=ADVANCED_FACE('',(#112),#109,-F.);
#114=CLOSED_SHELL('',(#95,#104,#113));
#115=MANIFOLD_SOLID_BREP('\X2\04220432043504400434043E0435\
B043E\X0\1',#114);
#116=COLOUR_RGB('\X2\FFF0FFF0\X0\X2\FFF0FFF0FFF0FFF0FFF0F
```

Рис. 3. Фрагмент файла STEP в системе Autodesk Inventor

Первой строкой, значимой для нас, является строка с записью MANIFOLD_SOLID_BREP. Она содержит ссылки на твёрдые тела в сборке. Запись #115=MANIFOLD_SOLID_BREP('\X2\04220432043504400434043E0435\X0\X2\04420435043B043E\X0\1',#114); содержит указатель (#115 – номер строки с текущей записью), символ присваивания «=» указателю некоторого значения, ключевые слова MANIFOLD_SOLID_BREP, указывающие на тип сущности и атрибуты сущности в скобках (" #2).

Как видно из этой строки, в сборке содержится одно твёрдое тело, а дальнейшее описание его передается через указатель строке #114.

Строка #114 содержит следующую сущность: CLOSED_SHELL. Она указывает поверхности (буквально «замкнутые оболочки»), ссылаясь на определяющие их строки. Переходя по ссылкам, мы найдём описание поверхностей. Пример: #114=CLOSED_SHELL(",(#95,#104,#113)); где даны ссылки на описание трёх поверхностей детали.

Следуя по одной из ссылок, например #95, попадаем на следующую запись #95=ADVANCED_FACE(",(#83,#94),#72,.T.). Сущность ADVANCED_FACE определяет поверхность твёрдого тела. Она имеет четыре атрибута, один из которых логический.

#72=CYLINDRICAL_SURFACE(",#71,10.0); сущность CYLINDRICAL_SURFACE указывает на то, что поверхность цилиндрическая. Плоские поверхности имеют сущность PLANE. Далее следуем по ссылке #83=FACE_OUTER_BOUND(",#82,.T.). Переходим по ссылке #82=EDGE_LOOP(",(#81)) и видим определение граней поверхности:

#81=ORIENTED_EDGE(",* ,* ,#80,.F.);

#80=EDGE_CURVE(",#74,#74,#79,.T.);

Координаты граней поверхности определяются в ссылке #74=VERTEX_POINT(",#73);

#73=CARTESIAN_POINT(",(-10.0,20.0,1.224647E-015)); - координаты декартовой точки (-10,20,0)

Грани поверхности ссылаются на окружность #79=CIRCLE(",#78,10.0); Окружность радиусом 10мм, координаты которой заданы в ссылке #78=AXIS2_PLACEMENT_3D(",#75,#76,#77); - трехмерная система координат, задающая положение окружности.

Центр окружности определяется Декартовой точкой:

#75=CARTESIAN_POINT(",(0.0,20.0,0.0)); - координаты декартовой точки (0,20,0)

#76=DIRECTION(",(0.0,1.0,0.0));

#77=DIRECTION(",(1.0,0.0,0.0));

Таким образом получаем грань верхнего торца, которая является границей цилиндрической поверхности детали.

Переводчик STEP поддерживает импорт и экспорт цветов тела, грани и кривой файлов STEP AP214. Стандарт STEP AP203 не поддерживает цвета. Программа-переводчик STEP экспортирует:

- документы деталей или сборок Inventor в файлы STEP;
- можно выбрать для экспорта только отдельные детали или узлы в дереве сборки. При выборе сборки автоматически выбираются все ее компоненты. При выборе компонента, частично выбираются его управляющие элементы, сохраняя структуру сборки;
- Inventor поддерживает экспорт единиц измерения длины документа детали или сборки в файл STEP AP203 или AP214;
- параметры экспорта можно установить в диалоговом окне Параметры экспорта STEP.

Программа-переводчик STEP импортирует:

- файлы STEP как документы деталей или сборок;
- из файла AP214 STEP информацию о геометрии тела, цветах тела, граней и кривой, а также информацию о топологии;
- геометрию каркасного представления из файлов STEP AP203 и AP214;
- данные конфигурации STEP. Эти данные можно импортировать, выбрав параметр Отображение данных конфигурации в разделе STEP диалогового окна Параметры импорта.

Библиографический список

1. **Норенков, И.П.** Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П.Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
2. **Шильников, П.С.** Средства поддержки CALS-технологий (технологий непрерывной компьютерной поддержки полного Жизненного Цикла Изделия) // Юбилейная научно-практическая конференция АНТОК СНГ: тезисы докладов. – М., 2001. – С. 15–18.
3. www.cad.ru
4. <http://bigor.bmstu.ru/>

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

R. A. Shabarov, O. V. Kretinin

STUDY OF THE DATA EXCHANGE PROCESS BETWEEN DIFFERENT AUTOMATED SYSTEMS

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

The purpose of the article is to demonstrate a usable and applicable character of the data exchange between different automated systems by means of STEP format. Detailed characteristics of STEP data standard (ISO 10303) used for visualization of elaborate models of engineering objects, as well as for the data exchange, are provided. An example of an exchange file of STEP format is given.

Key words: CAE, CAD/CAM/PDM – systems, STEP format, Express/STEP technologies, data transfer and coding, drawing digitizing.

УДК 531.43 (075.5)

В.Н. Ершов¹, Н.В. Ершов²

ПОСЛЕДСТВИЯ УДАРА ДЛЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Рассматриваются последствия ударного взаимодействия для сложных систем. Вводится понятие об импульсных связях. Рассмотрены примеры решения различного вида систем с использованием методов и подходов теории удара. Получены практические результаты.

Ключевые слова: сложные системы, ударное взаимодействие, импульсные связи, теория удара.

В большинстве технической литературы последствия удара рассматриваются как колебательный процесс системы, подвергшейся удару. Или же анализируются ударные силы упругого или упругопластического взаимодействия в местах соударения.

В то же время большой практический интерес представляет поведение сочлененных инженерных систем непосредственно после удара в какой-либо точке системы (кинематические и энергетические соотношения).

Рассмотрим очень быстрые (внезапные) изменения движения, происходящие при действии на систему ударных импульсов. Под ударными импульсами понимается предельный случай действия больших сил в течении очень коротких промежутков времени. За время τ конфигурация системы изменится не будет, тогда как скорость будет изменяться скачком.

В задачах, в которых других сил кроме ударных нет, координаты сохраняют постоянные значения, скорости в момент $t_1 = 0$ задаются, и требуется определить скорости в момент времени $t_1 + 0$.

Так как ударные силы в течении короткого промежутка времени принимают большие значения, то реакции связей в течении этого времени также должны быть большими. Будем также считать, что каждый элемент сочлененной системы за время удара остается твердым. В задачах о движении системы тел на систему могут действовать соответствующие ударные импульсы сил реакций. В теории удара удобнее пользоваться второй формой основного уравнения:

$$\sum_{r=1}^n (m_r x_r'' - N_r) \Delta u_r = 0,$$

где x_r'' - ускорения, N_r - реакции связей, Δu_r - конечные вариации скорости.

Введем понятия об импульсных связях. Это связи терпящие разрыв в момент времени t_1 . Тогда мы имеем две системы значений коэффициентов: значения при $t_1 = 0$ и значения при $t_1 + 0$.

На практике встречаются связи двух типов. Связи первого типа накладываются внезапно в момент времени t_1 . Наложение таких связей фактически уменьшает число степеней свободы систем. При связях второго типа число степеней свободы системы остается постоянным. Исходя из такого деления, возникают задачи двух типов:

1) задачи, в которых на систему действуют заданные ударные импульсы, а наложенные связи конечны, т.е. не импульсные;

2) задачи, в которых на систему не действуют ударные импульсы активных сил, но имеются импульсные связи.

Основное уравнение движения системы приводим к виду

$$\sum_{r=1}^n [m_r(u_r - u_{r0}) - P_r] \Delta u_r = 0,$$

где $P_r = \int_{t_1}^{t_1+\tau} N_r dt$ - составляющая импульса реакций. Величина τ пренебрежительно мала, а величины u_{r0} и u_r обозначают значения скорости x'_r в моменты $t_1 = 0$ и $t_1 + 0$.

Тогда значения скоростей u в момент времени $t_1 + 0$, т.е. непосредственно после приложения импульсов, определяются из условия, что выражение

$$T = \frac{1}{2} \sum m \left(u - u_0 - \frac{P}{m} \right)^2$$

принимает минимум при скоростях допустимых в момент $t_1 + 0$. Эта теорема аналогична принципу наименьшего принуждения Гаусса в случае конечных сил.

Рассмотрим две задачи.

Задача 1. Четыре однородных стержня массы M и длины ℓ каждый, шарнирно связаны друг с другом по концам и образуют раму По одной диагонали этой рамы натянута легкая нерастяжимая струна длиной $\ell\sqrt{2}$, т.е. когда струна натянута рама имеет форму квадрата. Система движется по гладкой горизонтальной плоскости. Первоначально струна не натянута, но в момент времени t_1 она натягивается. Требуется определить движение системы непосредственно после приложения импульса.

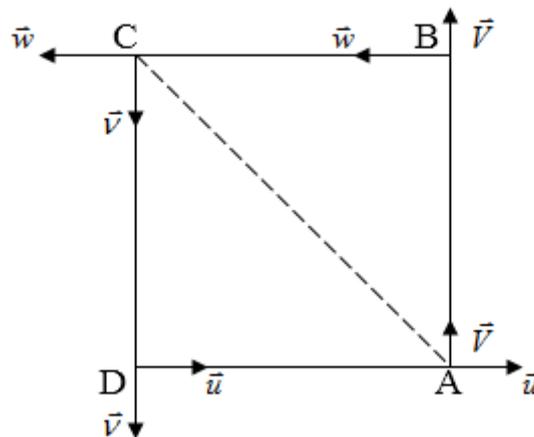


Рис. 1. Схема задачи

Обозначим скорости вдоль стержней $\vec{V}, \vec{w}, \vec{u}, \vec{v}$. Запишем кинетическую энергию стержня АВ. Он совершает сложное движение: поступательное - переносное со скоростью \vec{V} и плоское - относительное движение. Тогда его кинетическая энергия будет равна

$$T_{AB} = \frac{M}{6} (u^2 - uw + w^2 + 3V^2).$$

Аналогично и для других стержней системы. Тогда кинетическая энергия системы

$$T = \frac{M}{6} [5(V - V_0)^2 + 5(v - v_0)^2 + 5(w - w_0)^2 + 5(u - u_0)^2 - 2(u - u_0)(w - w_0) - 2(V - V_0)(v - v_0)],$$

где V_0, w_0, u_0, v_0 - значения скоростей непосредственно перед моментом натяжения струны.

Уравнение связи запишем в форме $u - V + w - v = 0$. Это проекции скоростей по концам струны, которые должны быть равны.

Условия стационарности (минимум функции T с учетом уравнения связи) дают

$$\begin{aligned} 5u - w - (5u_0 - w_0) &= \lambda \\ 5V - v - (5V_0 - v_0) &= \lambda \\ 5w - u - (5w_0 - u_0) &= \lambda \\ 5v - V - (5v_0 - V_0) &= \lambda. \end{aligned}$$

Из этих условий получаем

$$u - u_0 = w - w_0 = \frac{\lambda}{4}, \quad V - V_0 = v - v_0 = \frac{\lambda}{4},$$

где $\lambda = -u_0 + V_0 - w_0 + v_0$.

Задача 2. Пример импульсного движения непрерывных систем.

Рассмотрим однородную идеальную несжимаемую жидкость. Пусть имеются внешние и внутренние границы. Границы представляют собой либо твердые поверхности, либо деформируемые. В последнем случае их изменения должны происходить так, чтобы ограниченный ими объем оставался неизменным.

Если движение границ в некоторый момент t_1 претерпевает разрыв (например жидкость в замкнутом сосуде была в покое, а затем сосуду сообщили резкий толчок), то движение жидкости тоже будет разрывным. Задача состоит в определении мгновенные изменения движения.

Обозначим составляющие вектора скорости \vec{q} относительно неподвижной прямоугольной системы координат через \vec{u} , \vec{v} , \vec{w} , а постоянную плотность жидкости ρ . В жидкости устанавливается импульсное давление ϖ , подобно тому как в системе с конечным числом степеней свободы возникают импульсы связей. Основное уравнение принимает вид

$$\int \rho \{ (u - u_0)\Delta u + (v - v_0)\Delta v + (w - w_0)\Delta w \} d\tau = \int \varpi \Delta q_n dS.$$

Через q_n обозначена составляющая скорости вдоль внешней нормали. Символ Δ обозначает *конечное* приращение, возможное в момент времени $t_1 + 0$. Если направляющие косинусы внешней нормали обозначить через l , m , n , то правая часть уравнения будет иметь вид

$$-\int \varpi (l\Delta u + m\Delta v + n\Delta w) dS = -\int \left(\frac{\partial \varpi}{\partial x} \Delta u + \frac{\partial \varpi}{\partial y} \Delta v + \frac{\partial \varpi}{\partial z} \Delta w \right) d\tau - \int \varpi \left(\frac{\partial}{\partial x} \Delta u + \frac{\partial}{\partial y} \Delta v + \frac{\partial}{\partial z} \Delta w \right) d\tau.$$

Второй член правой части равенства равен нулю, т.к. $\operatorname{div} \vec{q} = \operatorname{div}(\vec{q} + \Delta \vec{q}) = 0$.

Тогда получаем

$$\int \left\{ \left[\rho(u - u_0) + \frac{\partial \varpi}{\partial x} \right] \Delta u + \left[\rho(v - v_0) + \frac{\partial \varpi}{\partial y} \right] \Delta v + \left[\rho(w - w_0) + \frac{\partial \varpi}{\partial z} \right] \Delta w \right\} d\tau = 0.$$

Это равенство справедливо для произвольных значений $\Delta \vec{q}$, удовлетворяющих уравнениям $\operatorname{div} \Delta q = 0$, $\Delta q_n = 0$. Таким образом

$$\rho(u - u_0) = -\frac{\partial \varpi}{\partial x},$$

$$\rho(v - v_0) = -\frac{\partial \varpi}{\partial y},$$

$$\rho(w - w_0) = -\frac{\partial \varpi}{\partial z}.$$

Получили уравнения импульсного движения жидкости. Импульсное давление ϖ связано с потенциалом скоростей возникшего движения соотношением

$$\varpi = \rho\varphi.$$

Из рассмотренного примера следует, что теоремы классической гидродинамики, доказываемые обычно с помощью теоремы Грина, могут быть получены из общих теорем теории удара.

Библиографический список

1. Сборник задач по теоретической механики / под ред. К.С. Колесникова. – М.: Наука, 1983.
2. Парс, Л. Аналитическая динамика / Л. Парс. – М.: Наука, 1971.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

V.N. Ershov¹, N.V. Ershov²

IMPACT EFFECT ON COMPLEX SYSTEMS

Nizhny Novgorod state pedagogical university n. a. K. Minin¹,
Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev²

Impact interaction consequences on complex systems are studied. A notion of pulse connections is introduced. Examples of various complex systems solutions using the impact theory methods and approaches are considered. Working knowledge is obtained.

Key words: complex systems, impact interaction, pulse connections, theory of impact.

УДК 65.011.56

А.С. Серов¹, С.А. Манцеров¹, С.Г. Синичкин¹, В.Ю. Максимов²**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ПОВЕРИТЕЛЯ
МНОГОЗНАЧНЫХ МЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
Нижегородский центр стандартизации и сертификации²

Рассмотрена проблема автоматизации рабочего места поверителя многозначных мер электрического сопротивления (ММЭС). Введение автоматизации позволяет значительно повысить производительность труда и уменьшить время проведения поверки. В статье рассматривается задача внедрения устройств с цифровым и программным управлением и использование достижений от ведущих производителей. Предложены пути решения проблемы ручной поверки. Рассмотрена задача по повышению эффективности управления и совершенствование методов планирования процесса управления ММЭС.

Ключевые слова: средства управления, поверка, ММЭС.

Многозначные меры (магазины) электрического сопротивления уже долгое время используются в метрологии для поверки и калибровки измерителей электрического сопротивления. Фактически они представляют собой последовательно соединенный набор отдельных резисторов, которые можно включать или отключать от схемы, регулируя суммарно воспроизводимое сопротивление. Несмотря на кажущийся технический минимализм этого оборудования, внутри корпуса многозначных мер сокрыты целые технологии и оригинальные технические решения.

На рис. 1 представлен магазин сопротивлений со штепсельной системой коммутации, она предполагала непосредственное соединение выводов внутренних катушек с использованием дополнительных приспособлений – штепселей или вилок.

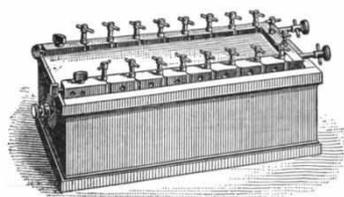


Рис. 1. Магазин сопротивлений со штепсельной системой коммутации

Повышение эффективности поверок ММЭС является основной целью при обеспечении унификации измерений [1].

На рис. 2 представлена схема основных этапов методики поверки ММЭС. Методика поверки многозначных мер электрического сопротивления изложена в методических указаниях МИ1695-87. Актуальный уровень развития приборостроения задал достаточно высокую планку для метрологического обслуживания современных измерителей сопротивления. Повсеместно используемые цифровые измерители параметров электробезопасности используют в процессе проведения измерений кратковременное протекание больших значений тока в измерительных цепях, что не предполагает применения для их поверки широко распространенных мер с небольшими значениями допустимой мощности рассеивания. Нельзя не отметить и тот факт, что конструкция магазинов сопротивлений, подразумевающая использова-

ние механических переключателей декад для установки целевого значения сопротивления, не позволяет придать какую-либо автоматизацию процессу поверки.

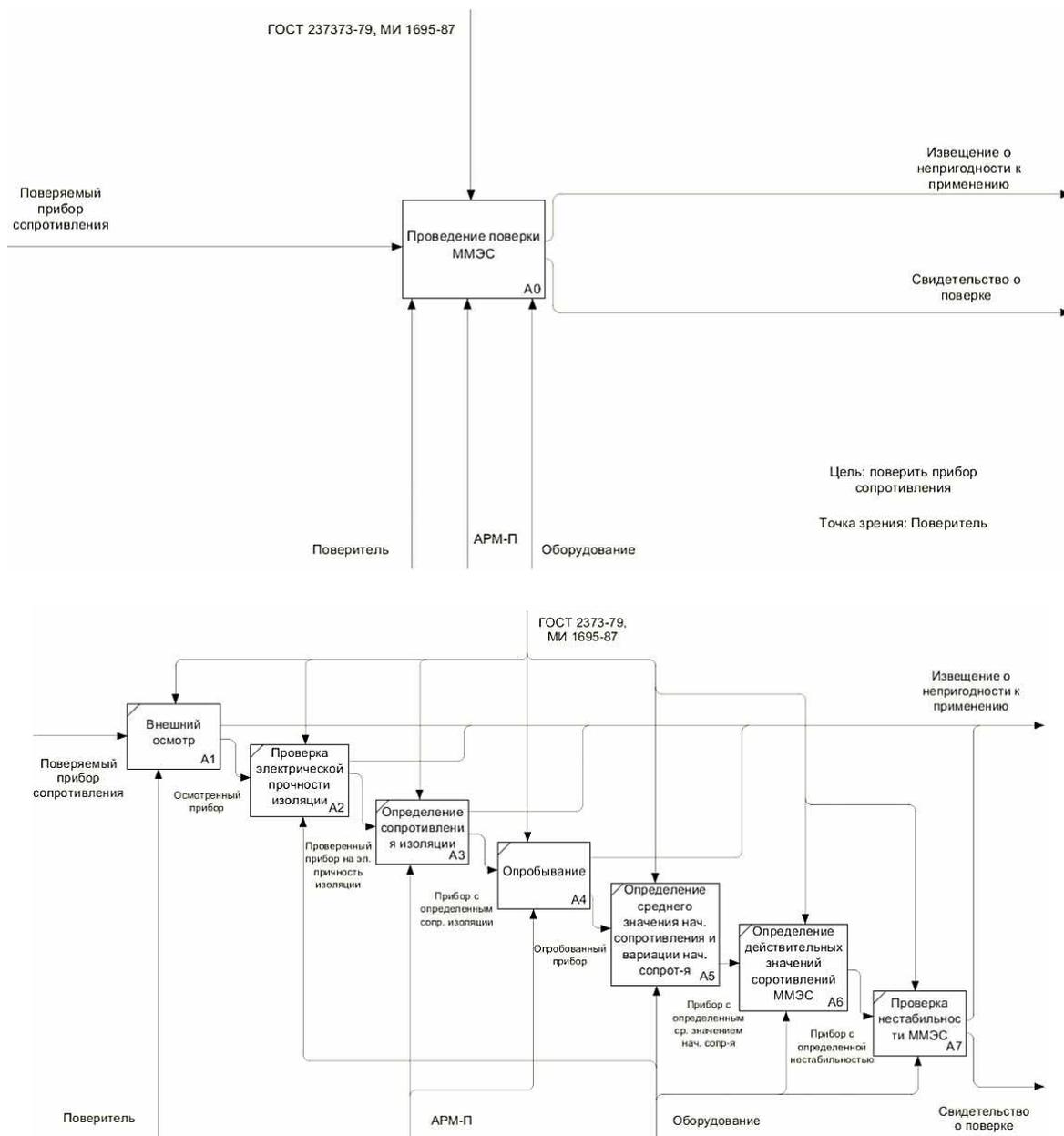


Рис. 2. Схема методики поверки ММЭС

Мерами электрического сопротивления называют образцовые резисторы, если они для этой цели сконструированы, изготовлены и прошли государственную поверку. Их подразделяют на две группы:

- 1) меры электрического сопротивления однозначные (ОМЭС) - катушки сопротивления;
- 2) меры электрического сопротивления многозначные (ММЭС) - магазины сопротивлений.

Деятельность работников сферы управления в настоящее время ориентирована на использование развитых информационных технологий.

Организация и реализация управленческих функций требует радикального изменения, как самой технологии управления, так и технических средств обработки информации, среди которых, главное место занимают персональные компьютеры. Они все более превращаются из систем автоматической переработки входной информации в средства накопления опыта управленческих работников, анализа, оценки и выработки наиболее эффективных экономи-

ческих решений. Тенденция к усилению децентрализации управления влечет за собой; распределенную обработку информации с децентрализацией применения в средства вычислительной техники и совершенствованием организации непосредственно рабочих мест пользователей.

Создание автоматизированного рабочего места (АРМ) предполагает, что основные операции по накоплению, хранению и переработке информации возлагаются на вычислительную технику, а поверитель выполняет часть ручных операций при подготовке управленческих решений.

АРМ, созданные на базе персональных компьютеров — наиболее простой и распространенный вариант автоматизированного рабочего места для работников сферы организационного управления. Такое АРМ рассматривается как система, которая в интерактивном режиме работы предоставляет конкретному работнику (пользователю) все виды обеспечения монополюсь на весь сеанс работы. Этому отвечает подход к проектированию такого компонента АРМ, как внутреннее информационное обеспечение, согласно которому информационный фонд на магнитных носителях конкретного АРМ должен находиться в монополюсь распоряжении пользователя АРМ. Пользователь сам выполняет все функциональные обязанности по преобразованию информации.

Создание АРМ на базе ПК обеспечивает:

- простоту, удобство и дружелюбность по отношению к пользователю;
- простоту адаптации к конкретным функциям пользователя;
- компактность размещения и невысокие требования к условиям эксплуатации;
- высокую надежность;
- сравнительно простую организацию технического обслуживания [2].

Для поверки мер электрического сопротивления и электродвижущей силы используются АРМ, включающие в себя такие приборы как мультиметр FLUKE 8508A, программируемый калибратор ПЗ21 и регулируемый термостат ТР-20. Главная цель поверки ММЭС это автоматизация всего процесса с момента осмотра состояния приборов и их связующих до момента выдачи результатов поверки.

При измерении сопротивлений на АРМ используется эталонный мультиметр FLUKE 8508A с помощью которого измеряются падения напряжения на образцовом и измеряемом сопротивлениях при прохождении через них одного и того же тока. Задание тока производится от программируемого калибратора ПЗ21. Затем по известному эталонному сопротивлению и измеренным напряжениям рассчитывается значение измеряемого сопротивления. Упрощенная схема измерения сопротивлений показана на рис. 3.

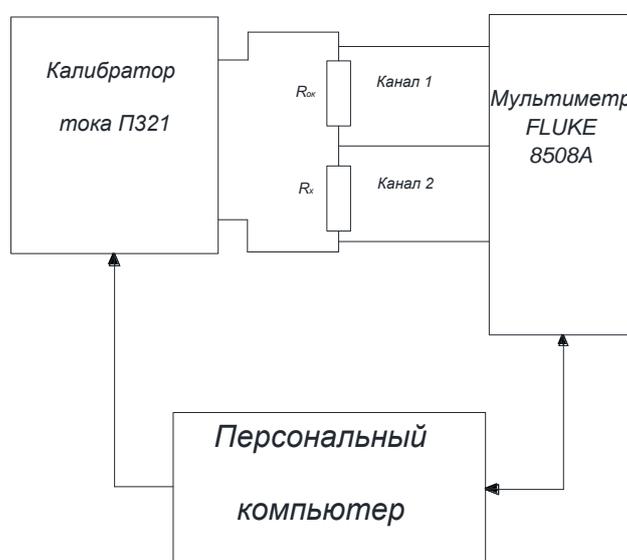


Рис. 3. Упрощенная схема измерения сопротивлений

Схема измерения сопротивлений может быть условно разделена на две части. К первой отнесем контур задания тока через сопротивление эталонной катушки $R_{ок}$ и измеряемое сопротивление R_x включенные последовательно. Кроме указанных сопротивлений в него входит калибратор тока ПЗ21, обеспечивающий требуемое значение тока, которое задается от персонального компьютера. Вторая часть схемы представлена мультиметром Fluke 8508A. Для измерения сопротивлений используются клеммы HI и LO, к которым подключаются падения напряжений соответственно с сопротивлений $R_{ок}$ и R_x . Измерение того или иного падения напряжения осуществляется внутренним коммутатором мультиметра, по командам от ПК. Первоначально производится измерение падения напряжения U_1 на сопротивлении образцовой катушки (канал 1), а затем на измеряемом сопротивлении U_2 (канал 2). Тогда, по известному значению сопротивления образцовой катушки $R_{ок}$, легко может быть определено измеряемое сопротивление по формуле:

$$R_x = \frac{U_2}{U_1} R_{ок}.$$

Таким образом, измерение сопротивления сводится по существу к измерению напряжений с помощью эталонного мультиметра FLUKE 8508A.

Эталонный мультиметр Fluke 8508A (рис.4) разработан специально для решения задач, которые стоят перед метрологами. Прибор не только обладает функциональностью, необходимой для решения сложных измерительных задач, но и чрезвычайно удобен в использовании. Кроме того, характеристики прибора позволяют пользователям полностью оценивать погрешности проводимых ими измерений.



Рис. 4. Эталонный мультиметр Fluke 8508A

Мультиметр *Fluke 8508A* позволяет решать широкий круг задач и обеспечивать высокое качество измерений с помощью одного прибора, что помогает сохранить время и деньги. Кроме измерений напряжения постоянного и переменного тока, силы постоянного и переменного тока, сопротивления и частоты мультиметр 8508A также выполняет множество других функций, позволяющих расширить диапазон проводимых измерений. Измерение сопротивления с использованием функции изменения направления тока повышает точность измерения сопротивления.

Функция измерения малых сопротивлений обеспечивает компенсацию температурной составляющей погрешности. Функция измерения отношения двух величин под управлением GPIB, позволяет использовать мультиметр *Fluke 8508A* в качестве удобного, быстрого, автоматического эталона-переносчика. Измерение больших токов (до 20 А) расширяет рабочий диапазон, позволяют проводить поверку широкой базы средств измерений. Измерения сопротивления производятся на напряжениях до 200 В, что позволяет точно измерять большие значения [3].



Рис. 5. Термостат регулируемый TP-20

Основная задача регулируемого термостата (рис. 5) состоит в том, чтобы задать и поддерживать определенную температуру эталонных катушек электрического сопротивления. В качестве теплоносителя используется трансформаторное масло, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 982-80. При определенной температуре эталонной катушки обеспечивается максимальная точность поверки.

Калибратор тока (рис. 6) с ручным и программным управлением предназначен для применения в автоматизированных поверочных установках, а также в качестве самостоятельного прибора для поверки аналоговых и цифровых амперметров постоянного тока классов точности 0,1 и менее точных в лабораторных и цеховых условиях, в поверочных организациях, НИИ, на промышленных предприятиях.

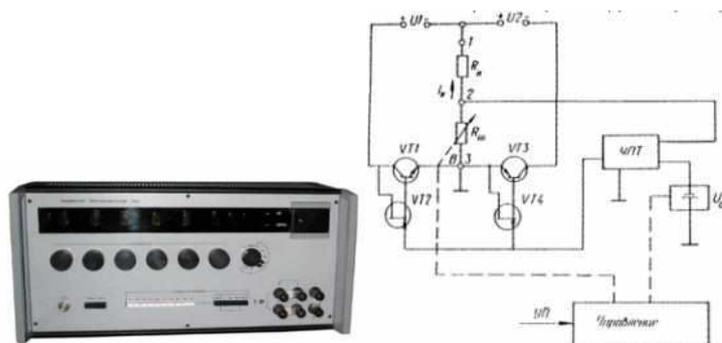


Рис. 6. Калибратор тока программируемый типа ПЗ21 и его функциональная схема

Калибратор выполнен по схеме компенсационного стабилизатора с непрерывным регулированием. Регулировка выходного тока осуществляется управляемым источником опорного напряжения. Масштабное преобразование опорного напряжения реализуется шестидекадным импульсным делителем и ключевыми схемами, которыми обеспечивается широтно-импульсная модуляция (ШИМ) напряжения опорного источника. Метрологические характеристики калибратора определяются свойствами ШИМ, временной стабильностью стабилизатора источника опорного напряжения, резисторов и резистивных делителей напряжения, определяющих пределы выходных токов и напряжения.

Схема калибратора разделена на две основные функциональные части: источник калиброванных токов (напряжений) и схему управления, изолированные друг от друга защитным экраном, что позволяет создать изолированный от корпуса выход и увеличивает помехозащищенность нагрузки. Основной частью калибратора является управляемый источник опорного напряжения (ИОН). Им обеспечивается регулирование выходного тока или напряжения в пределах шести десятичных разрядов (декад). Управляемый ИОН выполнен на основе кремниевого стабилизатора с гарантированной стабильностью во времени и при изменении температуры. Для осуществления масштабного преобразования (регулирования) в калибраторе применена широтно-импульсная модуляция (ШИМ) опорного напряжения [4].

Заключение

Создание и внедрение в практику работы автоматизированного рабочего места поверителя АРМ-П является значительным вкладом в автоматизацию такого трудоемкого процесса как поверка многозначных мер электрического сопротивления ММЭС. АРМ-П обеспечивает: хранение в памяти исходных данных о всех типах поверяемых ММЭС и обеспечивает печать свидетельств о поверке.

Библиографический список

1. **Бирюков, С.В.** Метрология: тексты лекций / С.В. Бирюков, А.И. Чередов. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2000. С. 17, 95–96.
2. Автоматизированные информационные технологии: учебник / под ред. проф. Г.А. Титорко. –М.: ЮНИТИ, 2005. С. 32–35.
3. Руководство по эксплуатации FLUKE 8508A.
4. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Калибратор тока программируемый ПЗ21.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A.S. Serov¹, S. A. Mantserov¹, S. G. Sinichkin¹, V. Yu. Maksimov²

AUTOMATED WORK STATION OF A VERIFICATION OFFICER FOR ADJUSTABLE ELECTRIC RESISTANCE MEASURES

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev¹,
Nizhny Novgorod Standardization and Certification Centre²

This article deals with a matter of automation of a work station of a verification officer for adjustable electric resistance measures. Automated principles implementation allows for a considerable increase of the labour capacity and reduces time of verification. The task of implementation of digitally and programmatically operated appliances, as well as of usage of the leading manufacturers' achievements is considered in the article. Solutions to the problem of manual verification are suggested. Such tasks as the management effectiveness increase and improvement of the methods of adjustable electric resistance measures management planning are reviewed

Key words: management means, verification, adjustable electric resistance measures.

УДК 004.94

О.В. Кретинин, А.Ю. Сизов, А.А. Туманов, Л.О. Федосова

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ПО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ В ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Показано создание системы автоматизированной оптимизации (CAO) с использованием возможностей программирования среды виртуального проектирования Autodesk Inventor. Рассмотрена структура прототипа CAO. Показаны принципы реализации целевой функции оптимизации путем применения инструментов Inventor: Application Programming Interface (API), iLogic и Visual Basic for Applications (VBA). Представлен пример доступной целевой функции оптимизации, которая может быть применена для разработки CAO в среде Inventor.

Ключевые слова: система автоматизированной оптимизации (CAO), Application Programming Interface (API), Visual Basic for Applications (VBA), параметрическая оптимизация, параметр, система автоматизированного проектирования, анализ напряжений, анализ пересечений.

В настоящее время существует множество систем автоматизированного проектирования (САПР) (Autodesk Inventor, SolidWorks, CATIA, Siemens Solid Edge, Siemens NX, T-Flex, Аскон - КОМПАС), с широкими возможностями для расширения/дополнения их функционала для различных нужд, уже непосредственно на производстве.

Актуальной задачей является исследование возможностей, предоставляемых для модификации и создания собственного функционала современных виртуальных сред с помощью интерфейса программирования приложений и применение этих знаний в проектировании комплексного программного решения автоматизированной оптимизации структурно-параметрических моделей на основе заданных условий и диапазонов технико-экономических параметров, таких как размер, масса, материал, выдерживаемые нагрузки, коэффициент запаса прочности, стоимость материала и производства изделия.

На данный момент существуют решения для автоматизированной оптимизации определенных параметров, но представленные решения предоставляют лишь ограниченный набор параметров для выбора и подразумевают вовлеченность человека между итерациями. Создание системы автоматизированной оптимизации (CAO) позволит:

- сократить затраты времени на оптимизацию модели;
- значительно сократить затраты времени при повторном использовании модели с измененными параметрами (например при необходимости создать схожую модель, использующую другие материалы и имеющую меньшие размеры необходимо лишь задать другие условия оптимизации);
- избежать ошибок, вызванных человеческим фактором при оптимизации модели;
- упростить пользовательский интерфейс (от пользователя требуется лишь задание диапазонов параметров и их приоритетов).

Рассмотренные САПР предлагают обширный функционал и развитый интерфейс прикладного программирования и в целом имеют схожие возможности. В качестве базовой САПР для системы автоматической оптимизации будет использоваться Autodesk Inventor.

API (англ. application programming interface) – интерфейс программирования приложений (иногда интерфейс прикладного программирования) – набор готовых классов, проце-

дур, функций, структур и констант, предоставляемых приложением (библиотекой, сервисом) для использования во внешних программных продуктах [1].

Интерфейс прикладного программирования Inventor построен на технологии COM Automation. К нему можно получить доступ, используя большинство распространенных в настоящее время средств разработки ПО: Microsoft Visual C++®, VB, C# и Delphi. Autodesk Inventor включает также и популярную среду разработки Microsoft VBA.

Программные компоненты взаимодействуют друг с другом посредством API. При этом обычно компоненты образуют иерархию – высокоуровневые компоненты используют API низкоуровневых компонентов, а те, в свою очередь, используют API ещё более низкоуровневых компонентов.

Inventor использует такой тип API, где объекты представлены через объектную модель или иерархию. Объектная модель (рис. 1) представляет объекты в структурированном, организованном виде, а также определяет отношения между объектами. Чтобы получить доступ к специфичному объекту, нужно сначала получить доступ к верхнему объекту-родителю в иерархии и только потом двигаться вглубь [2].

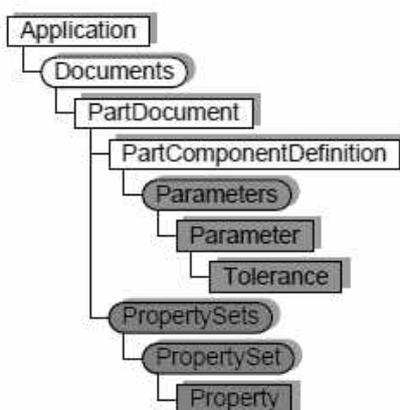


Рис. 1. Структура объектной модели Inventor

Важно отметить, что API это лишь другой способ взаимодействия с функционалом Autodesk Inventor. API позволяет делать те же самые действия и операции, которые можно совершить с использованием графического интерфейса пользователя.

САО должна предоставлять комплексное программное решение для следующих задач:

- подбор оптимальных параметров модели (длина, толщина и т.п.) по исходным данным;
- определение оптимального количества предварительно определенных структурных элементов по заданным параметрам;
- подбор наиболее экономичного материала удовлетворяющего заданным требованиям.

Система должна предоставлять обоснование оптимизации по технико-экономическим показателям на основе следующего комплекса параметров:

- максимально допустимые нагрузки и напряжения в модели;
- минимально допустимая масса;
- минимальный расход материала на модель.

Разрабатываемая система кроме предоставления широкого спектра возможностей должна удовлетворять следующим требованиям:

- удобный и функциональный интерфейс;
- настраиваемый функционал – система должна содержать достаточное количество настроек, для возможности ее использования в разных задачах (например, оптимизация исключительно структуры и габаритов модели);

- кросс-платформенное ядро – основная часть системы должна быть реализована вне системы, что позволит с минимальными усилиями адаптировать систему под нужды другой САПР или даже комплекса систем;
- расширяемый функционал – реализация системы должна предусматривать возможность расширения функционала, что позволит дополнительно адаптировать систему под определенные нужды, либо использовать новые возможности платформы САПР (поскольку перечисленные ранее платформы САПР постоянно совершенствуются и приобретают новые возможности);
- высокая производительность – система должна содержать максимально эффективные алгоритмы и предоставлять средства повышения производительности системы (облачные вычисления).

Для проектирования САО с целью использования одновременно нескольких виртуальных сред стоит разрабатывать систему как независимое отдельное приложение с собственным графическим интерфейсом, что позволит без каких-либо сложностей пользоваться всеми необходимыми виртуальными средами, а также обеспечит возможность их независимого контроля.

Для разработки прототипа САО с целью проверки доступности функционала стоит использовать предоставляемый Autodesk Inventor встроенный язык программирования VBA и правила iLogic. Преимущество данного варианта в относительной простоте освоения и возможности более быстрого написания функционала.

Первым сдерживающим фактором в рамках разработки САО явилось отсутствие API для модуля «Анализ напряжений» среды Autodesk Inventor. Данная проблема была решена с использованием «автоматического клика», реализованного на скриптовом языке программирования Python. Скрипт запускает создание отчета анализа напряжений в автоматическом режиме и далее получает необходимые значения для оптимизации из этого отчета. Далее другой скрипт выбирает наиболее экономичное решение и передает его обратно в основную программу VBA (рис. 2). Основная часть созданного прототипа САО реализована в коде VBA с использованием iLogic для вызова этого кода.

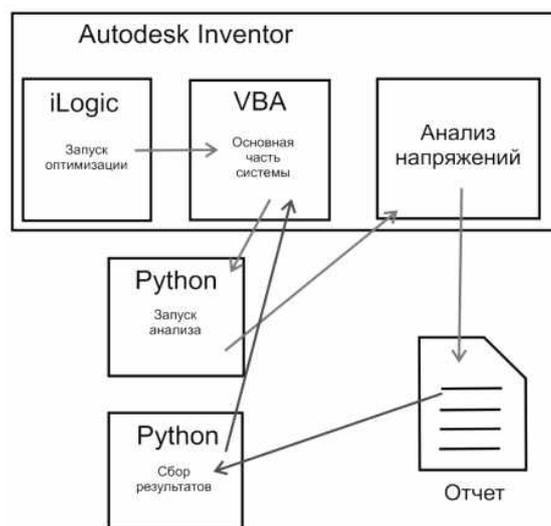


Рис. 2. Структура вызовов программы

В качестве цели оптимизации используются параметризованные свойства модели, хотя в случае с Autodesk Inventor изменения структурных элементов могут быть выражены в качестве параметров модели с помощью функций подавления структурных элементов iLogic.

Данная разработка была проверена на параметрической модели швеллера (рис. 3). Для реализации САО швеллера было разработано программное обеспечение в среде VBA, интерфейс которого представлен на рис. 3. Пользователю необходимо добавить требуемые па-

параметры и назначить диапазон их изменения, выбрать контролируемые параметры и задать их значения, указать точность, а затем нажать кнопку «Оптимизировать» (рис. 4).

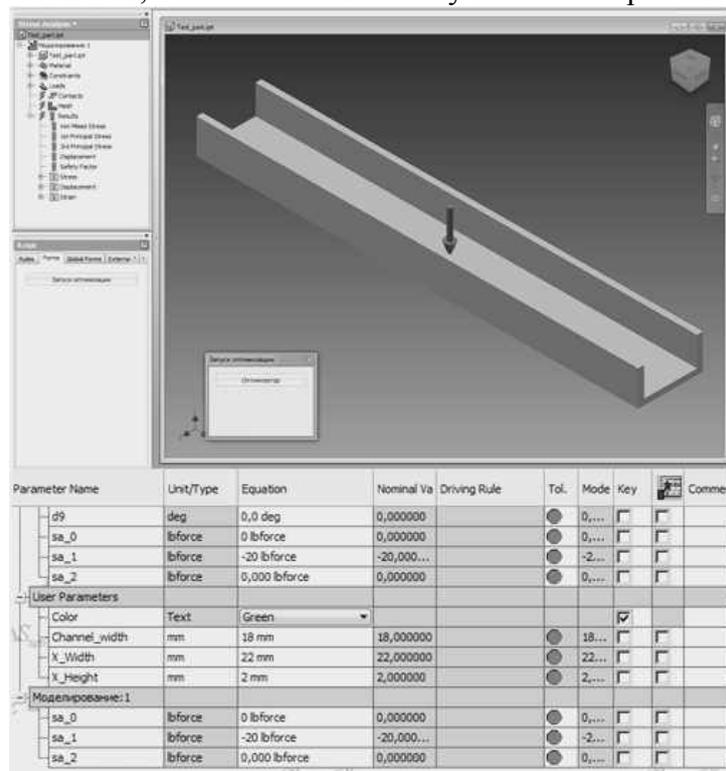


Рис. 3. Параметрическая модель швеллера

В данной задаче целевой функцией является нахождение определенной комбинации параметров швеллера с наименьшей массой, удовлетворяющей исходным заданным условиям (предельное напряжение по Мезису и максимальное смещение). Для нахождения оптимальной комбинации параметров был применён метод полного перебора.

Разработанная САО позволит производить оптимизацию моделей деталей на основе данных расчетов, предоставляемых функцией “Анализ напряжений” виртуальной средой Autodesk Inventor, с возможностью выбора основных требований к данным расчетам, с неограниченным количеством задаваемых параметров и выбором результата по минимальной массе модели с заданными параметрами (что в дальнейшем может быть расширено как стоимость материала используемого в модели). Если среди перебираемых решений было обнаружено несколько удовлетворяющих условиям, то из них будет выбрано решение, требующее наименьшего количества используемого материала в модели (минимальная стоимость). Структура прототипа системы представлена на рис. 5.

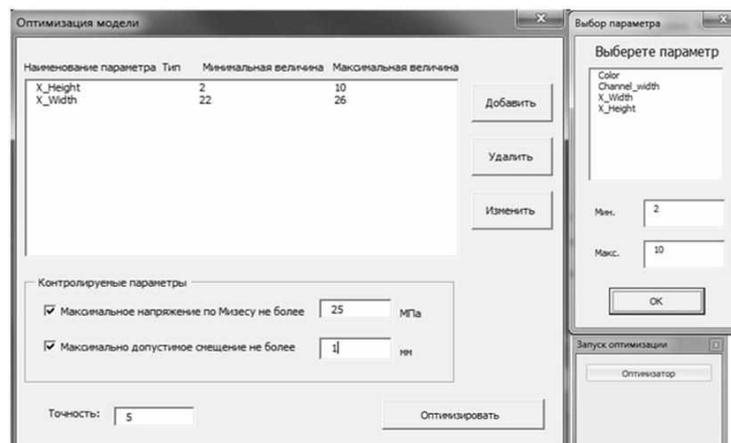


Рис. 4. Интерфейс программного обеспечения САО

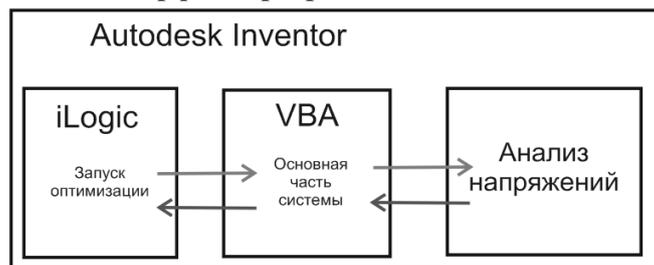


Рис. 5. Структура программной реализации прототипа системы

Библиографический список

1. Буздин, К.В. Исполнение моделей при помощи виртуальной машины // Труды Института системного программирования РАН. 2004. Вып. 1. Т. 8.
2. Кузьменко, В.Г. VBA / В.Г. Кузьменко. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2012. – 624 с.
3. Тремблей, Т. Autodesk Inventor 2013 и Inventor LT 2013. Официальный учебный курс: [пер. с англ. Л.Талхина] / Т.Тремблей. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 344 с.
4. Brian Ekins. Inventor® API: Exploring iProperties and Parameters. Synopsis DE101-1 from Autodesk University 2008.
5. David Melvin PE. Autodesk Inventor 2013 Certified: iLogic Made Simple, Multimedia DVD, 2012.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

O. V. Kretinin, A. Yu. Sizov, A. A. Tumanov, L. O. Fedossova

AUTOMATED SYSTEM FOR STRUCTURAL AND PARAMETRICAL MODELS OPTIMIZATION UPON TECHNICAL AND ECONOMIC CRITERIA IN VIRTUAL ENVIRINMENT

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

Creation of the automated optimization system (AOS) using software options of Autodesk Inventor virtual design environment is shown. AOS prototype structure is studied. The principle of implementing of the target optimization function by means of Inventor tools: Application Programming Interface (API), iLogic and Visual Basic for Applications (VBA), is shown. An example of the target optimization function available and usable for AOS development in Inventor environment is presented.

Key words: automated optimization system (AOS), Application Programming Interface (API), Visual Basic for Applications (VBA), parametrical optimization, parameter, automated design system, stress analysis, intersection analysis.

УДК 65.011.56

Р.Г. Хадеев¹, С.Г. Синичкин¹, С.А. Манцеров¹, В.Ю. Максимов²**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПОВЕРКИ ДЕЛИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
Нижегородский центр стандартизации и сертификации²

В данной статье мы рассмотрим один из важных элементов схмотехники – делитель напряжений. В статье представлена методика поверки делителей напряжений постоянного тока. На каждом этапе данного процесса поверки описаны действия поверителя и, на его основе, разработана и проанализирована соответствующая функциональная модель данного процесса.

Ключевые слова: делители напряжений постоянного тока, поверка, моделирование процессов.

В процессе измерения любой физической величины происходят преобразования сигнала измерительной информации. Устройства, выполняющие преобразование сигнала, называют преобразователями. Конструктивно преобразователь может быть выполнен как неотъемлемая часть какого-либо средства измерения или как самостоятельное средство измерения, которое можно использовать в сочетании с другими средствами измерений. Преобразователи, выполненные как самостоятельное средство измерения, называют измерительными преобразователями. Метрологические характеристики измерительных преобразователей нормируются независимо от метрологических характеристик средства измерения, с которым используются преобразователи в каждом конкретном случае. Поэтому поверка измерительного преобразователя представляет самостоятельную метрологическую задачу.

Делитель напряжения - это устройство, состоящее из резистивной схемы с фиксированными коэффициентами деления, обеспечивающей между двумя выходными зажимами выходное напряжение, равное заранее определённой части входного напряжения, приложенного между двумя входными зажимами. Делители напряжения бывают индивидуальные, встроенные внутрь прибора, и взаимозаменяемые.

Одной из важнейших метрологических характеристик делителя напряжения является коэффициент деления. Коэффициентом деления k называют отношение входного напряжения $U_{ВХ}$ к выходному напряжению $U_{ВЫХ}$

$$k = U_{ВХ} / U_{ВЫХ}.$$

Погрешность делителя напряжения нормируется в относительной форме в процентах от номинального значения коэффициента деления. Предел допускаемой основной погрешности делителей напряжения численно равен классу точности делителя напряжения.

Методика поверки делителей производится в следующем порядке:

I. *Внешний осмотр.* При внешнем осмотре должны быть установлены:

- исправность контактных зажимов;
- надежность закрепления отдельных частей делителя;
- соответствие маркировки делителя требованиям.
- плавность хода и четкая фиксация переключателей (при наличии);
- соответствие комплектности делителя (кроме запасных частей) требованиям технической документации на делитель.

II. *Опробование.* Производится проверка работы термостатирующего устройства у

термостатированных делителей.

III. *Определение сопротивления изоляции.* Сопротивление изоляции определяют между измерительной цепью делителя и его корпусом, а также между измерительной цепью и соединенными накоротко цепями термостатирующего устройства и между электрически соединенными цепями терморегулирования и корпусом.

IV. *Проверка электрической прочности изоляции.* Электрическую прочность изоляции проверяют между измерительной цепью и корпусом делителя. При наличии в делителе, кроме измерительной, других цепей (например, цепь терморегулирования) электрическую прочность изоляции определяют между этими цепями и измерительной цепью, а также между каждой из этих цепей и корпусом.

V. *Определение основной погрешности делителей* производится либо с устройством для самокалибровки, либо без устройства самокалибровки, или же для делителей, выпускаемых из ремонта, в случае замены резисторов измерительной цепи.

Определение основной погрешности делителей без устройства для самокалибровки.

Основную погрешность определяют измерением:

1. *Входного к выходного сопротивлений делителя методом сравнения с образцовой мерой сопротивления или методом замещения (для делителей классов точности 0,001 и менее точных).* Сопротивления делителя методом сравнения с образцовой мерой сопротивления измеряют по схеме, приведенной на рис. 1, а сопротивления делителя методом замещения – по схеме, приведенной на рис. 2.

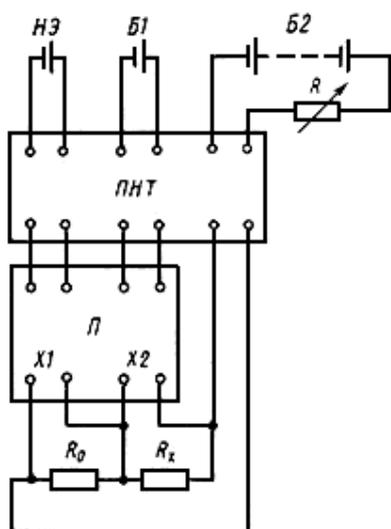


Рис. 1

П - потенциометр постоянного тока; *ПНТ* - переключатель направления тока; *R₀* - образцовая мера сопротивления; *R_x* - измеряемое сопротивление; *R* - регулировочный магазин сопротивлений; *НЭ* - нормальный элемент; *Б1, Б2* - источники питания

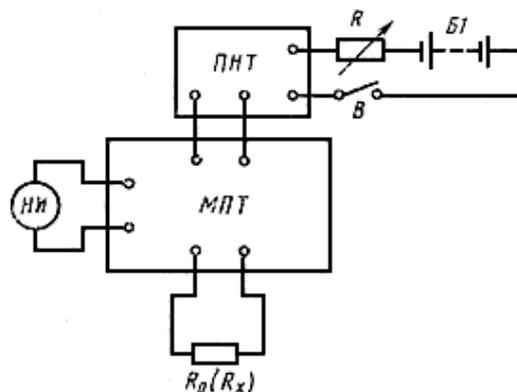


Рис. 2

МПТ - мост постоянного тока, *НИ* - нулевой индикатор

2. *Входного и выходного напряжений делителя компенсационным методом (для делителей классов точности 0,005 и менее точных).* В этом случае используют потенциометры, классы точности которых зависят от классов точности делителей и их коэффициентов деления. Делители поверяют по схеме, приведенной на рис. 3. Источник питания выбирают таким, чтобы напряжение на входе делителя было близко к верхнему пределу измерения по-

тенциометра.

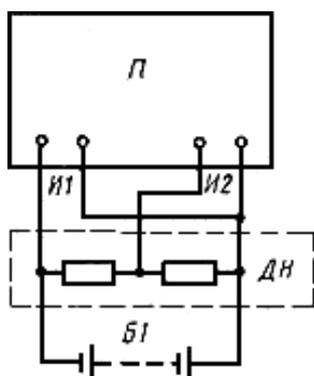


Рис. 3.
ДН - делитель напряжения

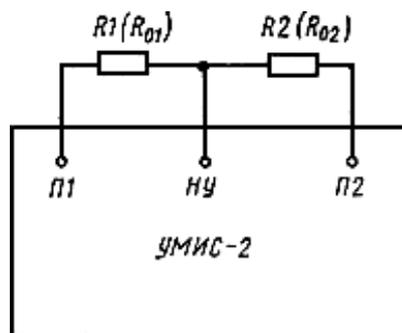


Рис. 4.
 R_{01}, R_{02} - сопротивления меры отношения;
 $R1, R2$ - сопротивления делителя

3. Отношения сопротивлений делителя методом сравнения с образцовой мерой отношения (для делителей классов точности 0,01 и более точных). Отношение сопротивлений делителя с образцовой мерой отношения сравнивают по схеме, приведенной на рис. 5. При этом сравниваемые сопротивления должны иметь значение в диапазоне 10^2 - 10^5 Ом.

4. Входного и выходного напряжений делителя при номинальном напряжении с помощью образцовых мер напряжения (для делителей класса точности 0,0005 и менее точных). В данном случае определяют основную погрешность измерением входного и выходного напряжений делителя при номинальном напряжении. Измерение выполняют по схемам, приведенным на рис. 5.

Схема измерения калибратором

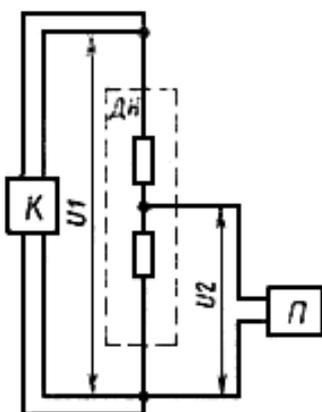


Схема измерения регулируемым источником постоянного напряжения

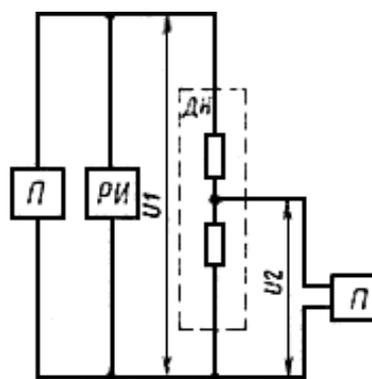


Рис. 5.

ДН - делитель напряжения; К - образцовая мера постоянного напряжения (калибратор); РИ - регулируемый источник постоянного напряжения; П - образцовое средство измерения постоянного напряжения

Определение основной погрешности делителей с устройством для самокалибровки (автономной поверки). Перед определением основной погрешности делителя с устройством для регулирования коэффициентов деления следует произвести подстройку делителя. Основную погрешность делителей классов точности 0,0001 и менее точных определяют сравнением сопротивлений делителя, имеющих одинаковые значения. Принципиальная схема делителя с устройством для поверки без измерительных катушек сопротивления приведена на рис. 6.

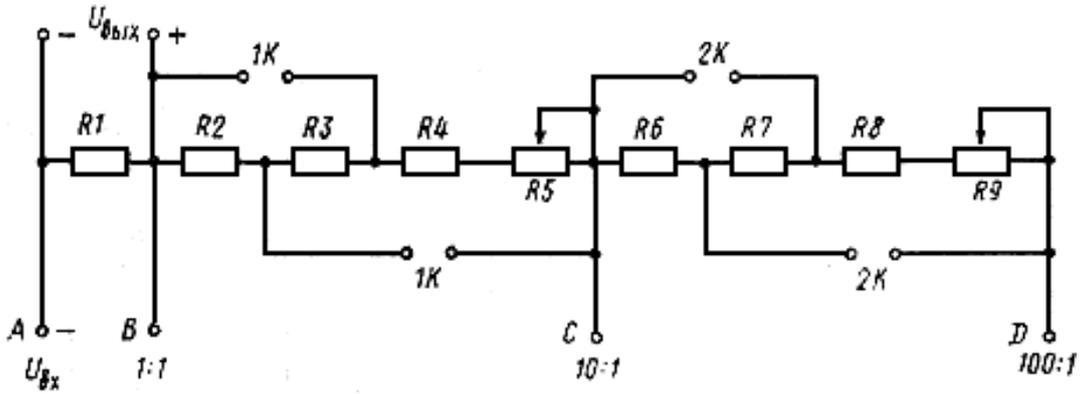


Рис. 6.

Определение основной погрешности делителей, выпускаемых из ремонта, в случае замены резисторов измерительной цепи. Основную погрешность делителей определяют в такой последовательности: на вход делителя в течение 2 ч подают напряжение, максимально возможное для поверяемого коэффициента деления. Затем сразу же после снятия напряжения определяют основную погрешность делителя одним из методов, указанных в «определение основной погрешности делителей без устройства для самокалибровки» и «определение основной погрешности делителей с устройством для самокалибровки». Допускается применять другие методы поверки, обеспечивающие необходимую точность. Основная погрешность делителей должна соответствовать требованиям ГОСТ 11282-75.

Для данного процесса поверки делителей напряжений разработаем и представим функциональную модель (рис. 7–9).

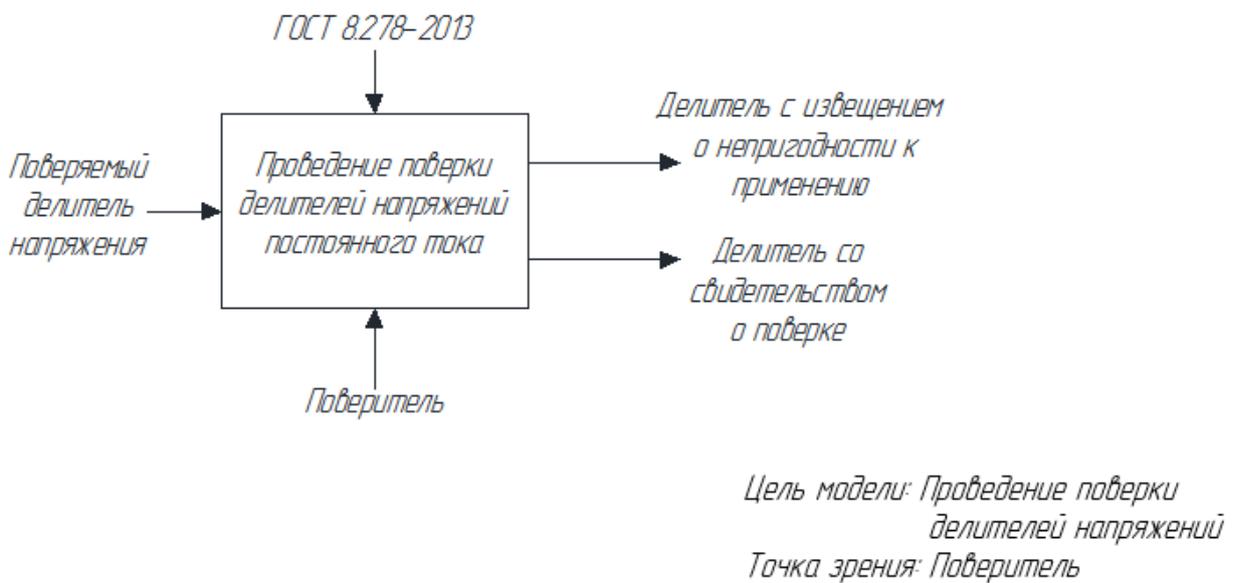


Рис. 7. Контекстная диаграмма процесса поверки делителей напряжений

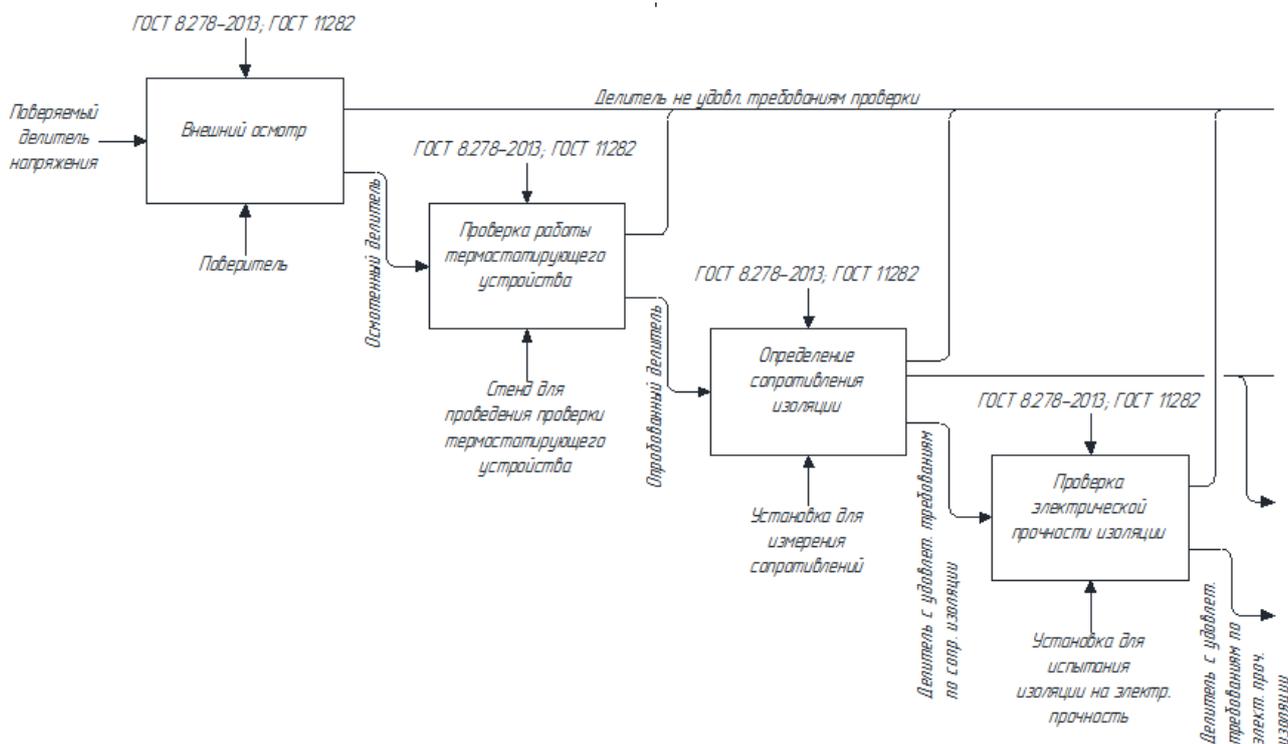


Рис. 8. Декомпозиционная диаграмма процесса поверки делителей напряжений (начало)

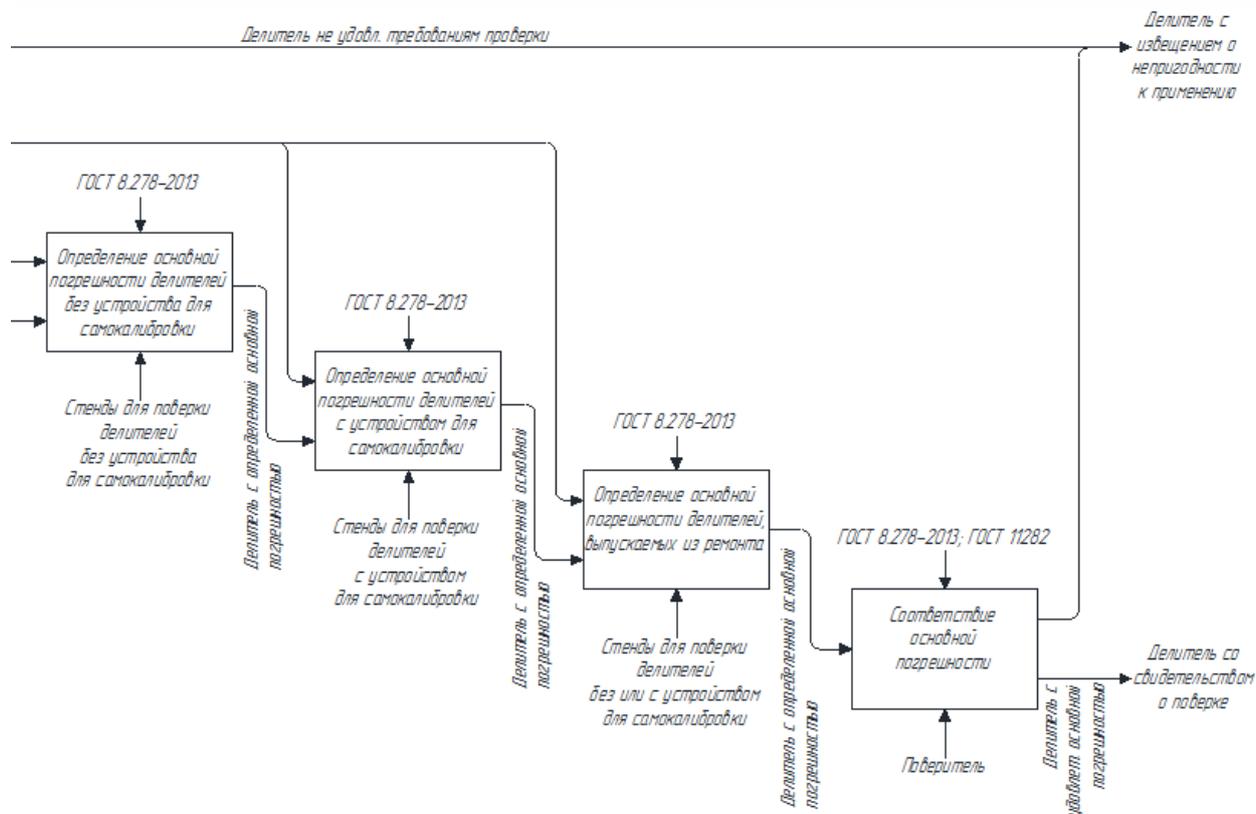


Рис. 9. Декомпозиционная диаграмма процесса поверки делителей напряжений (продолжение)

Проанализировав представленную модель проведения поверки делителей напряжений можно говорить о том, что данный процесс является однотипным, и в последующем его рекомендуется автоматизировать.

Библиографический список

4. ГОСТ 8.278-78. ГСИ. Делители напряжения постоянного тока измерительные. Методы и средства поверки.
5. **Усеинов А.Р.** Поверка и калибровка аналоговых измерительных преобразователей: учеб. пособие / А.Р. Усеинов. – М.: АСМС, 2002. – 62 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

R. G. Khadeev¹, S. G. Sinichkin¹, S. A. Mantserov¹, V. Yu. Maksimov²

MODEL DEVELOPMENT OF DIRECT CURRENT VOLTAGE DIVIDERS VERIFICATION PROCESS

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev¹,
Nizhny Novgorod Standardization and Certification Centre²

This article deals with one of the main elements of circuit engineering – a voltage divider. This article presents methods of direct current voltage dividers verification. A verification officer's actions at each stage of the process are described, and a relevant functional model of this process is set up and analyzed on this basis.

Key words: direct current voltage dividers, verification (calibration), processes modeling.

УДК 621.8 – 1/-9

А.В. Каляшина, О.В. Кретинин, А. Ю. Сизов, А. А. Туманов,
Л.О. Федосова

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕКТОВ
МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ В СРЕДЕ AUTODESK INVENTOR С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрена инновационная импортозамещающая технология предварительного диагностирования труб малого диаметра (до 250 мм), применяемых в газо- и продуктопроводах. Разработана конструкция интеллектуального транспортного средства (ИТС), реализующего данную технологию. Представлен более технологичный по сравнению с существующими аналогами принцип управляемого перемещения ИТС внутри ПЗО. Показана возможность быстрого проектирования ИТС с помощью системы автоматизированной оптимизации (САО).

Ключевые слова: робототехнический комплекс, диагностирование протяженных замкнутых объектов (ПЗО), интеллектуальное транспортное средство (ИТС), параметризация в Autodesk Inventor, оптимизация конструкции.

За последние 10-15 лет существенно возросла потребность населения в природном газе. В связи с этим сети подземных газопроводов как внутри субъектов, так и межрегиональные, постоянно расширяются и усложняются. Кроме того, внешнеэкономические цели государства в области экспорта природных ресурсов посредством трубопроводного транспорта приводят к строительству новых и возрастанию нагрузки на уже существующие международные магистральные газо- и продуктопроводы.

При этом нельзя забывать, что газопровод является источником повышенной опасности, причем как при эксплуатации, так и при производстве строительных или ремонтных работ. Механическое повреждение газопровода высокого давления может привести к взрыву, к человеческим жертвам, к материальным потерям и прекращению газоснабжения потребителей. Утечка газа или иного продукта из подземного трубопровода наносит ущерб окружающей среде и также может стать причиной прекращения газоснабжения. Определить место утечки бывает проблематично – природный газ не имеет цвета и запаха [1].

Решение указанных проблем неизбежно приводит к усложнению технологических требований к эксплуатации и ремонту подземных трубопроводов. В то же время растут требования к качеству и ответственности за проведение ремонтных работ на трубопроводах. Следовательно, существует актуальная задача предупреждения аварийных ситуаций на газо- и продуктопроводах путем проведения плановых диагностических работ. При этом необходимо выбрать такую технологию, которая позволит проводить работы, не выполняя значительных раскопок трубопровода – так называемую бестраншейную технологию, и обеспечит запрашиваемый уровень качества работ [2].

Наиболее ярким и эффективным примером такой технологии в диагностике протяженных замкнутых объектов (ПЗО) является видеодиагностика поверхности ПЗО изнутри. Эта технология подразумевает под собой использование телеинспекционных (видеодиагностических) роботов. Данные роботы чаще всего представляют собой колесное или гусеничное шасси, несущее на себе оборудование для предварительной диагностики ПЗО: камера, осуществляющая видеозахват внутренней поверхности трубы; прибор освещения (фонарь); аккумуляторы; привод движения робота; оборудование для обеспечения управления и связи

с роботом. Управление роботом осуществляется дистанционно по каналу связи – проводному или радиоканалу в зависимости от производителя.

Данная технология достаточно широко применяется как в России, так и за границей. К преимуществам применения телеинспекционных роботов можно отнести:

- возможность проведения предварительной диагностики непосредственно изнутри, не прибегая к раскапыванию трубы;
- возможность достаточно точного определения места повреждения или засорения канала трубы;
- сокращение эксплуатационных расходов;
- сокращение сроков выполнения работ.

Основными техническими характеристиками при выборе того или иного робота являются диаметр трубы и протяженность участка диагностирования [3]. Максимальная протяженность участка диагностирования для кабельных роботов ограничивается длиной кабеля до 100 м на малых диаметрах труб (250-500 мм) и 200-400 м на больших диаметрах (свыше 500 мм).

Радиоуправляемые роботы в данном отношении являются более универсальными. Существующие модели могут преодолевать участки протяженностью в 3 км, что позволяет более эффективно использовать их при работах на магистральных трубопроводах, в особенности на участках под водоемами. Однако, к настоящему моменту радиоуправляемые роботы применяются в трубах диаметром до 500 мм [4].

Существуют и другие ограничения в использовании видеодиагностических роботов. Эти ограничения можно объединить в ряд недостатков:

1. Ограниченная протяженность участка диагностирования. Данная проблема успешно решается за счет использования радиоуправляемых роботов. Однако, и здесь есть трудности: все время нахождения робота внутри трубы должно обеспечиваться питание его исполнительных элементов и привода, что предопределяет наличие серьезных требований к аккумуляторам.

2. Ограниченная проходимость. Внутри ПЗО нередко встречаются посторонние объекты (кирпичи, куски грунта и пр.). С уменьшением диаметра ПЗО уменьшается свободное пространство между роботом и стенками трубы и, следовательно, повышается риск столкновения робота с препятствием. В результате этого робот может застрять внутри трубы. Также сюда можно отнести ситуации, когда колеса робота начинают проскальзывать из-за наличия смазки, грязи на стенках трубы или из-за большого угла подъема ПЗО. В этом случае необходимо наличие робота-эвакуатора для извлечения застрявшего робота из трубы.

3. Изгибы ПЗО. Чаще всего для простоты и высокой работоспособности робота выполняется жесткий привод на все четыре колеса шасси. В этом случае маневренность робота сводится к минимуму, и при изгибах трубы на участках большой протяженности робот переворачивается. В случае полного переворота робота возможно повреждение его элементов, а также снова возникает необходимость извлечения робота из ПЗО при помощи эвакуатора.

4. Обрыв страховочного троса. Одной из задач робота является протаскивание страховочного троса с одного конца участка на другой. Нередки случаи обрыва троса в результате перетирания о стенки ПЗО, при вытягивании перевернувшегося робота и пр. Здесь является одна из наиболее сложных задач – зацепить оборвавшийся трос и вытащить его на поверхность. Необходима разработка устройства для зацепления троса и блока управления к нему. Кроме того, решение данной задачи требует значительных временных затрат.

5. Отсутствие решений для труб диаметром <200 мм. Если для ПЗО диаметром 200-250 мм еще можно применить колесного или гусеничного робота, то на диаметрах ниже 200 мм задачи предварительного диагностирования решить с помощью таких роботов практически невозможно, так как в этом случае накладываются существенные ограничения на габариты робота. В этой ситуации размещение аккумуляторов и двигателей достаточной мощности крайне затруднительно, а использование маломощных элементов питания и при-

водов ограничивает технологические возможности робота в плане максимальной протяженности участка диагностирования и времени работы машины. Данная проблема является наиболее острой и трудноразрешимой.

Принимая во внимание все перечисленные проблемы, встает необходимость разработки новой, более совершенной технологии для выполнения задач диагностирования. Примером подобной технологии для ПЗО малых диаметров может служить инновационное импортозамещающее решение, разработанное в НГТУ им. Р.Е. Алексеева – интеллектуальное транспортное средство (робот), в качестве привода продольного перемещения использующее разность давления с разных концов трубы.

Данный робот представляет собой модульную структуру, состоящую минимально из двух модулей (общее количество модулей определяется поставленной задачей), соединенных между собой упругим элементом. Упругий элемент служит для обеспечения подвижного соединения модулей. На ведущем модуле устанавливается камера для осуществления видеосъемки внутренней поверхности трубы. Между модулями располагаются элементы питания камеры.

Каждый модуль представляет собой многослойную комбинированную структуру, состоящую из лепестковых элементов и упругой мембраны круглого сечения между ними. Лепестковый элемент выполнен в виде диска из упругого материала (например, резины), окантовка которого имеет косые надрезы, образующие лепестки. В середине каждый лепестковый элемент имеет отверстие, назначение которого будет описано далее. Диаметр лепесткового элемента совпадает (или практически совпадает) с диаметром трубы. Предназначен он для восприятия разницы давлений и преобразования ее в движение робота. Мембрана располагается соосно с лепестковыми элементами и играет роль обратного клапана, необходимого для обеспечения реверса робота.

ИТС концептуально представляет собой снаряд в виде поршня, движущийся при наличии достаточной разности давлений с разных сторон робота. Разница давлений нагнетается при помощи воздуходувки или компрессора, расположенных с концов трубы (один конец). При повышении давления с одной стороны мембрана перемещается в сторону переднего лепесткового элемента и закрывает клапан в направлении движения вперед. Косые разрезы лепестков обеспечивают их поджатие друг к другу при повышении давления. Таким образом, образуется плотная структура, с разных сторон которой образуется разность давлений, в результате чего робот начинает движение.

В случае если на пути движения робота окажется инородный предмет, лепестковая структура поршня позволит обогнуть его, либо, в случае малой массы, забрать его с собой. При прохождении модулем препятствия образуется разуплотнение структуры в месте сгиба лепестков. Этим объясняется минимальное количество модулей (два) – при разуплотнении одного модуля включается другой, благодаря чему робот не прекращает движения.

Инновационный способ движения позволяет создавать перемещение ИТС без установки на нем электропривода. Это обеспечивает снижение массы робота, уменьшение его габаритов и отсутствие необходимости установки мощных аккумуляторов для питания двигателей – необходимо лишь обеспечить питание видеокамеры, энергопотребление которой существенно ниже. Упругий элемент, соединяющий модули, обеспечит гибкость для улучшения проходимости участков изгиба ПЗО.

В настоящий момент в НГТУ им. Р.Е. Алексеева разработана концептуальная модель данного ИТС, подготовлен лабораторный стенд и проводятся испытания. Разрабатывается опытный образец для проведения натурных испытаний, а также создается параметрическая трехмерная модель ИТС в среде Autodesk Inventor с применением разработанной системы автоматизированной оптимизации (CAO) узлов конструкций по технико-экономическим параметрам для быстрого проектирования конкретного робота под заданный типоразмер ПЗО [5].

Библиографический список

1. СНиП 2.05.06-85 Магистральные трубопроводы.
2. Пат. на полезную модель №:2068148. Прибор для инспекции трубопровода.
3. **Харионовский, В.В.** Исследование устойчивости газопроводов, имеющих размытые участки / В.В. Харионовский, Ю.А. Окопный, В.П. Радин // Проблемы надежности газопроводных конструкций. – М.: ВНИИГАЗ, 1991. С. 94–99.
4. Патент на полезную модель №:133896 Робототехническая система инспекции трубопровода.
5. **Роджерс, Д.** Математические основы машинной графики / Д.Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Машиностроение, 1980.

*Дата поступления
в редакции 11.12.2014*

A.V. Kalyashina, O. V. Kretinin, A. Yu. Sizov, A. A. Tumanov, L. O. Fedosova

**DEVELOPMENT OF A ROBOTIC SYSTEM CONSTRUCTION FOR EXTENDED
CLOSED SMALL DIAMETER OBJECTS DIAGNOSTICS IN AUTODESK INVENTOR
ENVIRONMENT USING AUTOMATED OPTIMIZATION SYSTEM**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

An innovative import-substituting technology for preliminary diagnostics of small-diameter pipes (up to 250 mm), used in gas and product pipelines, is studied. A construction of an intelligent transport facility using this technology is developed. An advanced (as compared to the existing similar ones) principle of controlled intelligent transport facility movement inside extended closed objects is presented. A possibility of agile design of the intelligent transport facility by means of automated optimization system (AOS) is shown.

Key words: robotic system, diagnostics of extended closed objects, intelligent transport facility, parameterization in Autodesk Inventor, constructive optimization.

УДК 621.865:004.896

К. В. Степанов, Л.О.Федосова

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ NI LABVIEW
ROBOTICS STARTER KIT В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Цель статьи – показать многогранность использования платформы Robotics Starter Kit в учебном процессе. Приведены дисциплины, в рамках которых может использоваться данный комплекс. В статье представлено описание аппаратных и программных компонентов платформы, показаны их функциональные возможности и продемонстрированы какие навыки и умения студенты могут приобрести, работая с данным комплексом. Рассмотрены возможности по расширению функционала платформы Robotics Starter Kit.

Ключевые слова: LabVIEW, ПЛИС, встраиваемая система управления и сбора данных NI Single-Board RIO, мобильный робот, система управления, датчики, процессор реального времени, робототехника, мехатроника.

В учебном процессе по освоению дисциплин «Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике», «Средства автоматизации и управления», «Программное обеспечение мехатронных и робототехнических систем» и «Основы мехатроники и робототехники» целесообразно использовать функциональные возможности автономной мобильной платформы NI Robotics Starter Kit, данный комплекс оптимально подходит для обучения основам мехатроники и робототехники. Комплекс NI Robotics Starter Kit позволяет познакомиться с современными встраиваемыми системами реального времени и научиться их программировать для решения различных задач, таких как обработка изображений, управляющих сигналов, реализация интерфейсов и их преобразование.

Платформа NI Robotics Starter Kit состоит из набора программных и аппаратных средств которые позволяют разрабатывать встраиваемые системы управления мобильными роботами. С помощью входящего в состав платформы программного обеспечения LabVIEW Robotics Module достаточно просто освоить навыки управления мобильным роботом. Также имеется возможность использовать готовый программный код управления роботом, модифицировать его и создавать собственные управляющие программы. При работе с оборудованием платформы NI Robotics Starter Kit, есть возможность изучения архитектуры робототехнических систем, ознакомления с электрической схемой робота и получения реальных практических знаний в создании прототипов роботов.

Аппаратная часть платформы NI Robotics Starter Kit представляет собой универсальный набор элементов для сборки мобильных роботов различной степени сложности и функциональности. Она содержит легко монтируемые механические компоненты, электроприводы, модули управления, датчики различных типов (рис. 1).

Мобильная часть платформы NI Robotics Starter Kit выполнена на базе комплекта TETRIX фирмы Pitsco. В состав комплекта TETRIX входит колесный узел, состоящий из двух колес диаметром не менее 102 мм и двух омни-колес, кронштейн, монтажная панель и набор крепежа и профилей. При использовании платформы TETRIX, имеются широкие возможности по изменению этой части комплекса, которые достигаются путем внесения новых легко монтируемых элементов, позволяющих создать более сложную конструкцию (рис. 2).

Мобильный робот, (рис. 2, а) оснащен видеокамерой и беспроводным маршрутизатором для подключения к сети видеокамер. Система технического зрения позволяет обрабатывать изображения в реальном времени, с целью обнаружения объектов.

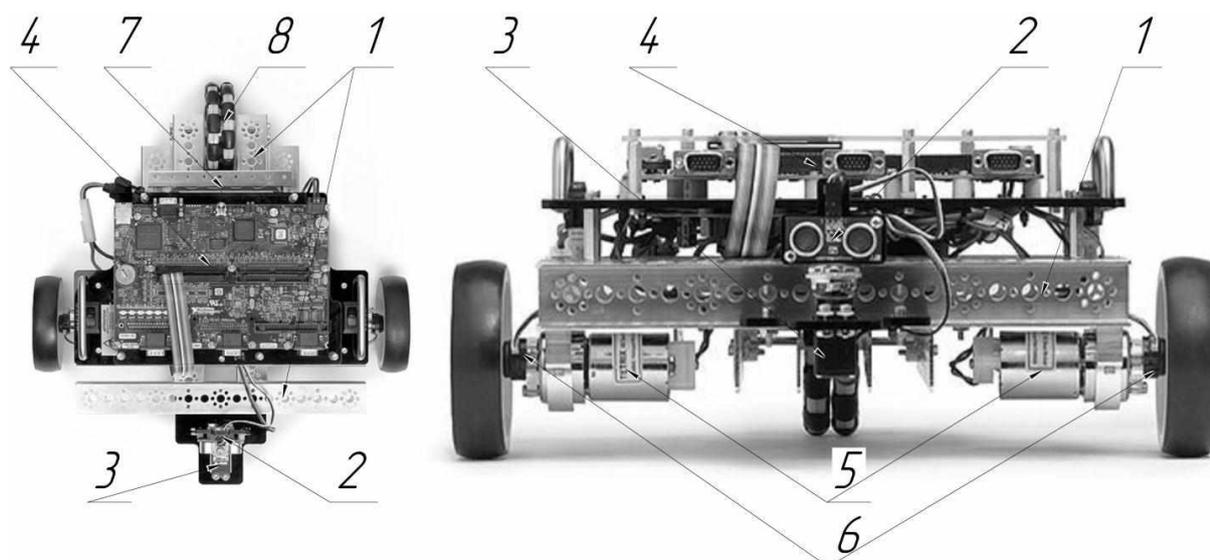


Рис. 1. Общий вид автономной мобильной платформы NI Robotics Starter Kit:

1 - TETRIX платформа; 2 - ультразвуковой датчик расстояния; 3 - сервопривод; 4 - плата управления на базе NI Single-Board RIO 9632; 5 - двигатели постоянного тока; 6 - оптические квадратурные энкодеры; 7 - аккумулятор; 8 - омни-колеса

Мобильный робот, (рис. 2, б) оборудован манипулятором с четырьмя степенями свободы. Обеспечение координации движения манипулятора регулируется специально программируемыми двигателями.

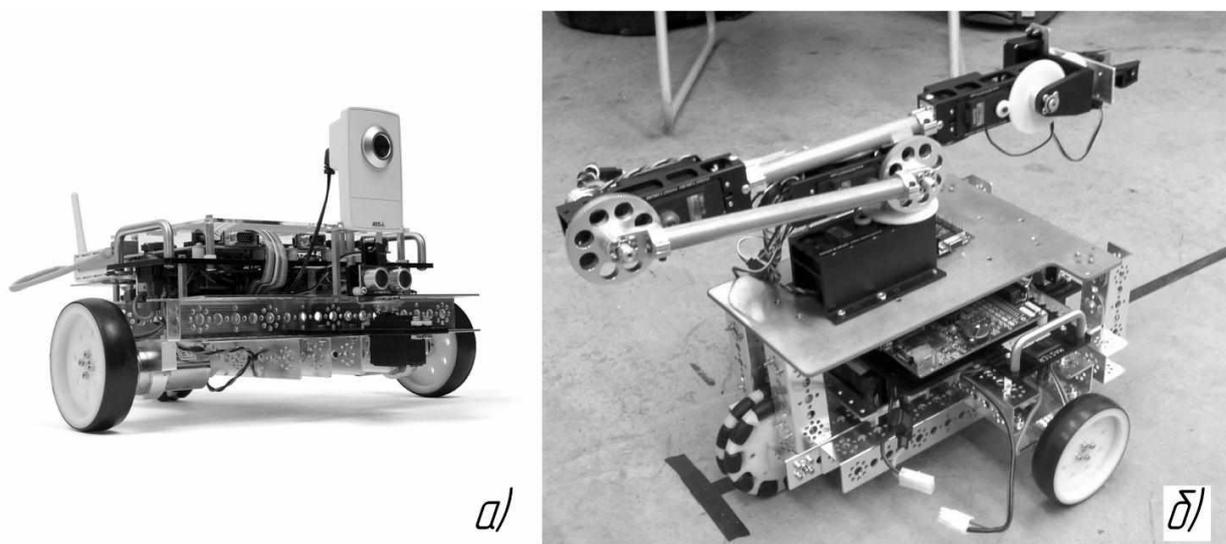


Рис. 2. Варианты возможных конструкций мобильных роботов

В стандартный набор Starter Kit входит ультразвуковой датчик расстояний с диапазоном измерений от 0,02 до 3 м, который можно закрепить к серводвигателю, что позволит считывать весь горизонт препятствий перед мобильной платформой и оптический квадратурный энкодер. Предусмотрена возможность расширения функций платформы за счет дополнительных модулей сбора данных с датчиков, GPS-приемника, GSM-передатчика и блока обработки видеозображений с видеокамерами.

Интеллектуальный блок платформы представляет собой встраиваемую систему управления и сбора данных NI Single-Board RIO, состоящую из контроллера реального времени (400 МГц), программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) и каналов ввода-вывода, смонтированных на одной печатной плате (рис. 3).

Платформа NI Single-Board RIO представляет OEM (Original equipment manufacturer) решение для создания встраиваемых систем сбора данных, мониторинга и управления. Открытая архитектура, функциональная гибкость, компактность и низкая стоимость повышает эффективность разработки встраиваемых систем.

Платформа предназначена для отработки навыков внедрения промышленных систем управления и измерений с использованием встраиваемой платформы Single-Board RIO. Также встраиваемая платформа Single-Board RIO позволяет изучить программирование ПЛИС, контроллера реального времени, передачу данных между ПЛИС и контроллером реального времени, программирование ПК с ОС Windows в составе системы Single-Board RIO и передачу данных между контроллером Single-Board RIO и ПК с ОС Windows [1].

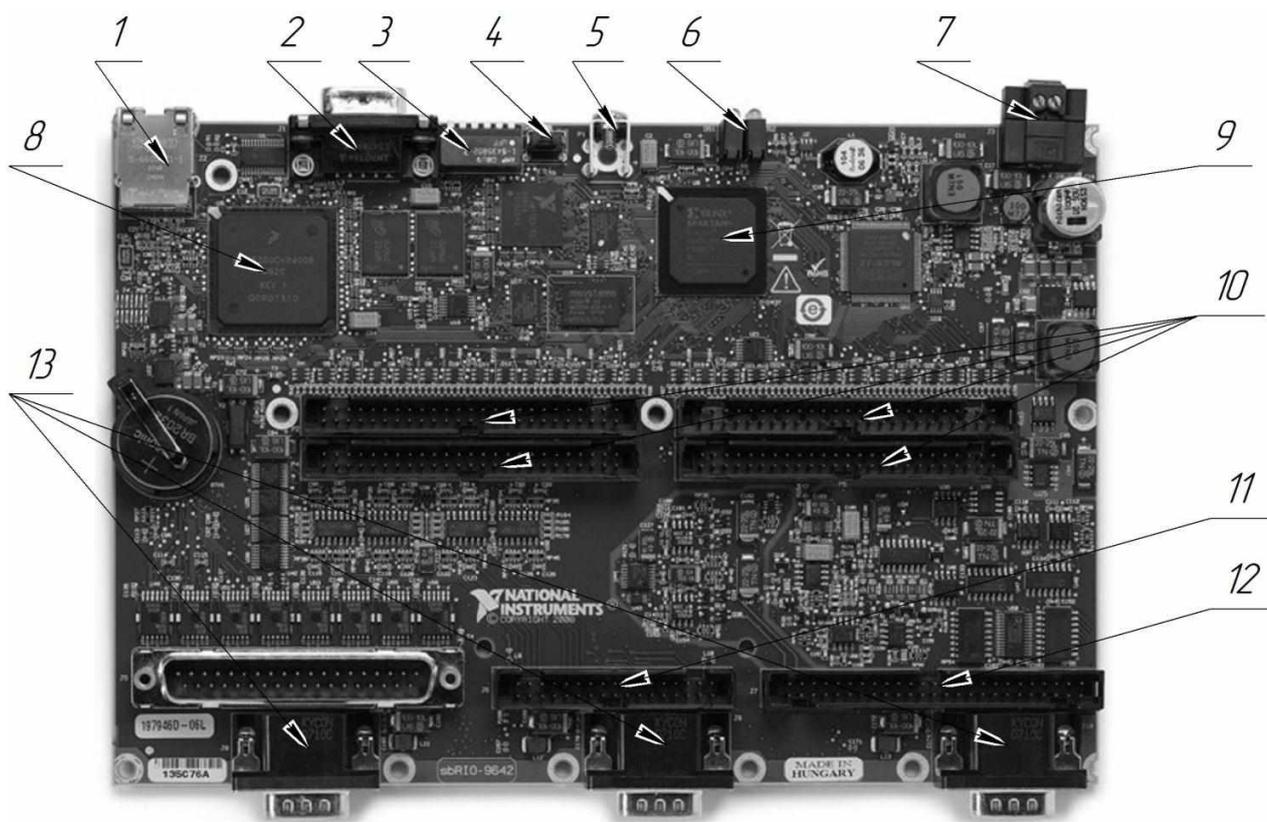


Рис. 3. Общий вид печатной платы NI Single-Board RIO 9632:

1 - порт Ethernet RJ-45; 2 - последовательный порт RS-232; 3 - DIP переключатели; 4 - кнопка Reset; 5 - ушко заземления; 6 - светодиодные индикаторы; 7 - разъем питания; 8 - процессор реального времени; 9 - микросхема ПЛИС; 10 - цифровой ввод/вывод 3,3 В; 11 - цифровой ввод 24В; 12 - разъем аналоговых входов/выходов; 13 - коннектор для модулей

Программное обеспечение мобильной платформы NI Robotics Starter Kit реализовано в высокоуровневой среде графического программирования LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench), для создания приложений измерения, обработки данных, управления, моделирования, а также для реализации автоматизированных, научно-исследовательских и промышленных проектов.

Программная среда LabVIEW создана под разработку программно-аппаратных комплексов для тестирования, измерения, ввода/вывода данных, анализа и управления внешним оборудованием. LabVIEW создаёт как автономные модули (*.EXE), так и совместно используемые динамические библиотеки (*.DLL).

Основополагающим для LabVIEW является принцип потока данных (Dataflow), согласно которому функции выполняются лишь тогда, когда они получают на вход необходимые данные.

Программы LabVIEW называются виртуальными приборами (ВП), так как они функционально и внешне подобны реальным приборам. Виртуальный прибор состоит из двух основных частей:

1) лицевая панель (front panel) – интерактивный пользовательский интерфейс ВП. На ней могут находиться ручки управления, кнопки, графические индикаторы и другие элементы управления, которые являются средствами ввода данных со стороны пользователя;

2) блок диаграмм (block diagram) - исходный программный код ВП, созданный на языке графического программирования LabVIEW. Компоненты блока диаграмм – это ВП более низкого уровня, встроенные функции LabVIEW, константы и структуры управления выполнением программы[2].

У LabVIEW есть ряд преимуществ перед другими программными средами:

- интуитивно понятный пользователю процесс графической разработки приложений;
- встроенные функции для измерения сигналов, управление приборами и устройствами, обработки результатов измерений, генерации отчетов, передачи данных по сети;
- интеграция с широким спектром оборудования, включая платы сбора данных USB/PCI/PCI Express, промышленные контроллеры, системы на базе ПЛИС, беспроводные системы сбора данных, модульное измерительное оборудование PXI, системы машинного зрения, приводы;
- программирование и управление приборами сторонних производителей по стандартным интерфейсам USB, RS-232/485, GRIB, Ethernet;
- возможность подключения внешнего кода, написанного на других языках программирования.

Для работы платформы NI Robotics Starter Kit необходимо следующие программное обеспечение:

- LabVIEW;
- LabVIEW FPGA Module(модуль для программирования ПЛИС);
- LabVIEW Real-Time Module (модуль для графической разработки приложений сбора данных и управления, работающих в режиме жесткого реального времени);
- LabVIEW Robotics Module.

Используя данную платформу, пользователи могут исследовать взаимодействие между группами мобильных объектов, реализовывать сложные алгоритмы управления группами роботов, разрабатывать системы на базе ПИД - регулирования и нечеткой логики. Она позволяет разрабатывать робототехнические системы с учетом сетевого взаимодействия нескольких элементов робототехнического комплекса. Возможно решение таких задач, как движение робота в лабиринте, построение карты местности, преследование объекта и др.

Библиографический список

1. **Баран, Е. Д.** LabVIEW FPGA. Реконфигурируемые измерительные и управляющие системы / Е. Д. Баран. – Москва: ДМК, 2009. – 447 с.
2. **Тревис, Дж.** LabVIEW для всех: [пер. с англ. Н. А. Клушин] / Дж. Тревис. – М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. – 544 с.
3. <http://russia.ni.com/labview>
4. <http://russia.ni.com/>

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

K. V. Stepanov, L. O. Fedosova

**«NI LABVIEW ROBOTICS STARTER KIT» ROBOTIC PLATFORM AND ITS USE
IN THE TEACHING PROCESS**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

The purpose of the article is to demonstrate the multiple use of Robotics Starter Kit platform during the teaching process. The disciplines in which the system is applicable are specified. The article deals with a description of hardware and software components of the platform, their functional options are shown, and the skills and knowledge available for the students by using this system are presented. Options at custom programming of Robotics Starter Kit platform are considered.

Key words: LabVIEW, PLD, NI Single-Board RIO integrated data acquisition and control system, mobile robot, control system, sensors, real time processor, robotic engineering, mechatronics.

УДК 621.74.042

Н.Н. Кувшинова

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЮМОТЕРМИИ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ЛИТЬЕ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приводится описание истории возникновения алюмотермии и применение ее в различных областях промышленности. Рассматривается возможность применения принципа алюмотермии для изготовления отливок посредством центробежного литья.

Ключевые слова: алюмотермия, термитная шихта, железная окалина, центробежное литье, энергосбережение.

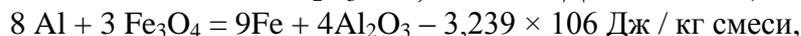
Основу алюминотермии заложил выдающийся русский ученый химик Н. Н. Бекетов в 1865 году, сформулировав принцип получения трудно восстанавливаемых металлов из их оксидов. Он установил, что алюминий при определенных условиях легко восстанавливает из окислов другие металлы, стоящие правее его в таблице напряжений химических элементов.

В качестве оксида металла чаще всего применяют содержащую оксиды железа железную окалину или железную руду.

Окалина включает в себя несколько оксидов железа:

- FeO (закись железа) – с 22,2% кислорода,
- Fe₃O₄(закись-окись железа) – с 27,58% кислорода,
- Fe₂O₃(окись) – с 30,0% кислорода.

Во время восстановления железа из окалины протекают экзотермические реакции, соответствующие уравнениям:



Продуктами реакции являются железо, восстанавливаемое из оксидов (термитная сталь), и оксид алюминия (термитный шлак). Обычно получают 50% железа и 50% шлака.

Алюмотермия в свою очередь дала начало экзотермической сварке и наплавке. В литейной промышленности используют экзотермические вставки для утепления прибылей. В чистом виде металл, выделившийся из железоалюминиевого термита, в литейном производстве используют очень редко. Так, известны единичные случаи фигурного литья: в середине прошлого века из термитной стали был отлит бюст В. И. Ленина [1]. Еще известна технология получения слитков (чушек) термитной стали, служащих основой шихты для стальных и чугуновых отливок [2].

Основными преимуществами технологий, в основе которых лежит алюмотермия, являются энерго- и ресурсосбережение. Экзотермическая реакция после единичного температурного толчка в 1000°C проходит самостоятельно и в течение 20 секунд может выделиться до нескольких тонн металла из шихты. Иными словами, источник энергии для плавления металла не требуется. Ресурсосбережение обусловлено применением в качестве ингредиентов для шихты дешевых порошков вторичного алюминия и отхода металлургического производства – железной окалины.

Существуют и недостатки алюмотермитных процессов. Во-первых, это сложности контролирования горения термитной шихты. Во-вторых, термитная сталь, полученная из чистого железоалюминиевого термита, низкого качества из-за содержания в ней частичек шла-

ка и загрязнений, указывающих на то, что участвовавший в реакции материал был использован не полностью и слабо легирован.

Полученное алюминотермитным способом железо характеризуется малой прочностью ($HB = 300 \text{ Н/мм}^2$) и высокой твердостью ($HB = 1000$) и не годится для сварки или наплавки, поэтому в шихту добавляют различные легирующие добавки.

Технологии экзотермической сварки и наплавки могут быть прототипами для разработки литейных процессов на основе алюмотермии. Например, при наплавке изношенной части рельсов расплавленный термитный металл заливают из тигля на огражденный дефект. При восстановлении зуба экскаватора первоначально готовят форму, повторяющую зуб экскаватора, устанавливают форму на основной металл, засыпают в форму шихту, доводят до реакции – из шихты выделяется присадочный материал и происходит его приварка к основному металлу. Такие технологии сварки (наплавки) получили названия литьем расплавленного металла (тигельный способ) и плавлением.

Применение этих технологий возможно для выплавки отливок простой конфигурации, когда расплав льется из тигля в форму или форму заполняют шихтой, поджигают и расплав формируется непосредственно в форме. Однако при сварке и наплавке металл льется на подогретую поверхность основного металла, а в случае изготовления отливки – в обычную стержневую форму, поэтому высока вероятность образования пор и шлаковых включений.

Для повышения качества отливок можно воздействовать физическими методами во время жидкой фазы и во время кристаллизации металла, но все это значительно повысит затраты, что будет просто не выгодно.

Гораздо больше возможностей открывается при применении алюмотермии в области центробежного литья. Там поры и шлаковые включения могут быть выдавлены под действием центробежной силы.

Существует два основных способа центробежного литья – при вращении формы вокруг горизонтальной оси (рис. 1) и вокруг вертикальной оси (рис. 2) [3].

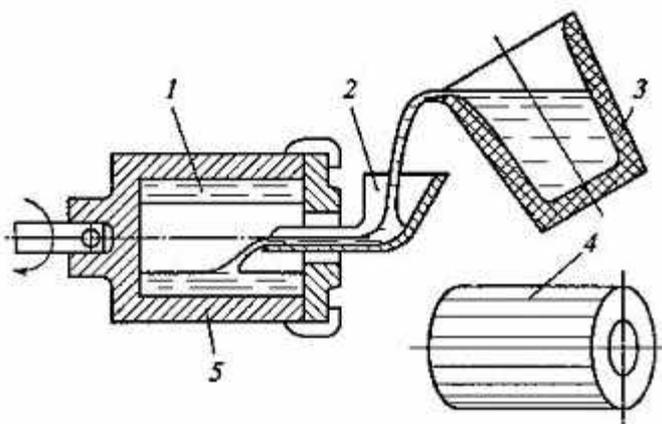


Рис. 1 Схема получения отливки при вращении формы вокруг горизонтальной оси:

1 – расплав; 2 – заливочный желоб; 3 – ковш; 4 – отливка; 5 – форма

В первом варианте получают отливки – тела вращения малой и большой протяженности, во втором – тела вращения малой протяженности и фасонные отливки.

Наиболее распространенным является способ литья пустотелых цилиндрических отливок в металлические формы с горизонтальной осью вращения. По этому способу (рис. 1) отливка 4 формируется в поле центробежных сил со свободной цилиндрической поверхностью, а формообразующей поверхностью служит внутренняя поверхность изложницы. Расплав 1 из ковша 3 заливают во вращающуюся форму 5 через заливочный желоб 2. Расплав растекается по внутренней поверхности формы, образуя под действием поля центробежных сил пустотелый цилиндр. После затвердевания металла и остановки формы отливку 4 извле-

кают. Данный способ характеризуется наиболее высоким технологическим выходом годного (ТВГ = 100%), так как отсутствует расход металла на литниковую систему.

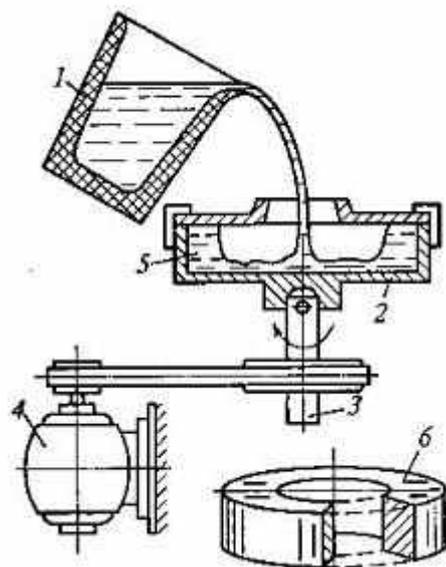


Рис. 2 Схема получения отливок при вращении формы вокруг вертикальной оси:
1 – ковш; 2 – форма; 3 – шпиндель; 4 – электродвигатель; 5 – расплав; 6 – отливка

При получении отливок со свободной параболической поверхностью при вращении формы вокруг вертикальной оси (рис. 2) расплав из ковша 1 заливают в форму 2, закрепленную на шпинделе 3, приводимом во вращение электродвигателем 4. Расплав 5 под действием центробежных и гравитационных сил распределяется по стенкам формы и затвердевает, после чего вращение формы прекращают и извлекают из нее затвердевшую отливку 6.

В обоих случаях расплав заливают в форму и, благодаря вращению формы, формируется отливка.

Существующие схемы получения центробежных отливок допускают возможность залить термитную сталь как из тигля после экзотермической реакции, так и поместить шихту внутрь полости формы еще до ее реакции.

Применение тигельного способа заливки в форму термитной стали усложняется трудностью определения точного времени окончания реакции, так как в целях безопасности работающих реакция должна происходить в закрытом тигле. Поэтому возможно застывание стали прямо в тигле.

При помещении шихты в полость формы возникают сложности с ее зажиганием. Чтобы решить этот вопрос рассмотрим, каким образом решалась проблема зажигания при центробежной наплавке с применением экзотермических смесей.

При наплавке внутрь детали помещают порошкообразную экзотермическую смесь с добавлением легирующих компонентов и запал. Запал состоит из вещества или смеси веществ, воспламеняющихся при трении и спрессованных в брикет. Брикет имеет форму шара, многогранника или шара с шипами. Поджигают смесь после начала вращения детали. После затвердевания наплавленного слоя вращение прекращают [4].

Такую аналогию можно использовать и при изготовлении отливок при центробежном литье. Схематично суть процесса представлена на рис. 3 и поясняется следующим образом.

Внутри формы 1 помещают термитную шихту 2. В шихту могут быть добавлены легирующие элементы, например, в виде порошка. На поверхность шихты 2 помещают запал 3, выполненный из вещества или смеси веществ, воспламеняющейся при трении, в виде брикета в форме шара, многогранника или шара с шипами. Форму 1 приводят во вращение. После начала вращения порошкообразный наплаваемый материал 2 под действием центробежных сил начнет перемещаться относительно обрабатываемой поверхности детали 1, распределя-

ясь по этой поверхности равномерным слоем. Запал 3 также начнет перемещаться относительно обрабатываемой поверхности. Поскольку плотность запала отличается от объемной плотности порошкообразного наплавляемого материала 2, скорости их перемещения будут различными. Следовательно, после начала вращения будет происходить трение запала 3 об форму 1 и об частицы термитной шихты 2. В результате запал 3 воспламенится и нагреет экзотермическую смесь 2 до температуры ее возгорания. Начнется экзотермическая реакция, в результате которой образуется жидкий металл, восстановленный из окисла, в смеси с расплавом легирующих элементов, и шлак - окисел металла восстановителя. Под действием центробежной силы расплавленный металл равномерно распределится по форме 1, а шлак растечется ровным слоем по поверхности жидкого металла. После окончания экзотермической реакции форму 1 продолжают вращать до полного затвердевания наплавленного слоя, после чего вращение прекращают и удаляют шлак, например, путем механической обработки.

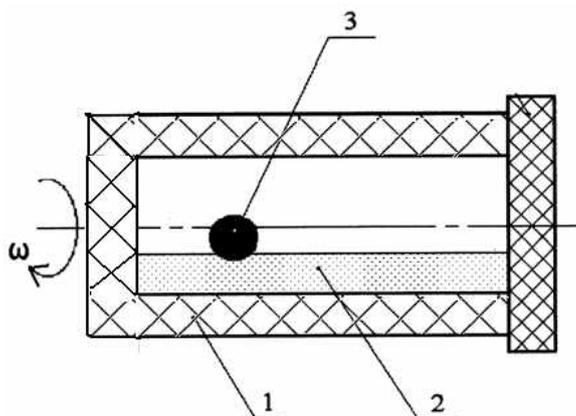


Рис. 3. Схема центробежного литья с использованием экзотермических смесей:
1 – форма; 2 – термитная шихта; 3 – запал

Как пример возьмем технологию центробежного литья подшипника скольжения из Ст. 3 с горизонтальной осью вращения.

Внутрь формы помещают термитную шихту. Состав термитной шихты для рассматриваемого примера может быть следующим, мас. %: Алюминий - 18 – 28; железная окалина - 62 – 70; твердый сплав ПГ-С1 - 1 – 10; карбид титана - 1 – 10. Чтобы эта смесь не расслаивалась под действием центробежных сил на компоненты, имеющие различную плотность, она может быть замешана, например, на жидком стекле, а затем высушена и размолота на гранулы диаметром не более 0,8 мм.

После того как требуемое количество шихты засыпят в полость формы, туда же помещают запал, спрессованный в виде брикета в форме шара, многогранника или шара с шипами. Запал должен состоять из вещества или смеси веществ, легко воспламеняющейся при трении. Примером может служить смесь, состоящая из 25% бертолетовой соли, 50% перекиси марганца, 15% серы и 10% мелкого алюминиевого порошка. После этого форму вращают относительно ее продольной оси со скоростью 1400-1600 оборотов в минуту. Экзотермическая смесь распределяется по обрабатываемой поверхности равномерно под действием центробежной силы. Запал в результате трения о поверхность втулки и о частицы порошка нагревается и воспламеняется. При горении приведенный ранее примерный состав запала может дать температуру 1700... 1800°C. Этого достаточно для начала экзотермической реакции термитной смеси. В результате этой реакции из смеси восстановится чистое железо, которое смешивается с легирующими компонентами, образуя легированную сталь. Алюминий, восстановив железо, окислится и образует шлак Al_2O_3 . Вследствие разницы удельных весов стали и шлака термитная сталь под действием центробежной силы расположится равномерно

ным слоем на поверхности формы. Более легкий шлак расположится на поверхности наплавленного слоя.

После того, как наплавленный металл полностью затвердеет, вращение прекращают. После полной остановки вращения удаляют с внутренней поверхности изделия путем расточки или сверления.

Таким образом, при внедрении алюмотермии в центробежное литье отпадает необходимость в применении источников электроэнергии и в энергозатратах на получение тепла для расплавления металла. Добавление в экзотермическую смесь легирующих компонентов позволяет получать требуемый состав отливки, что обеспечивает его нужные служебные свойства.

Введение внутрь обрабатываемой детали запала, состоящего из вещества или смеси веществ, воспламеняющейся при трении, позволяет отказаться от сложных устройств для поджигания экзотермической смеси, например электронагревателей, которые необходимо вводить внутрь вращающейся детали. Это упрощает процесс литья, обеспечивая возможность его осуществления и повышая его надежность.

Выполнение запала в форме шара или многогранника, или шара с шипами повышает вероятность его воспламенения при трении об обрабатываемую поверхность и частицы порошка наплавленного материала в различных конкретных условиях наплавки.

Предлагаемый способ центробежного литья с применением экзотермических смесей может быть осуществлен на известном уже оборудовании, применимым для стандартных способов центробежного литья. Кроме того, простота технологии может позволить осуществлять весь процесс, например, на токарном станке или на любом известном вращателе. Для изготовления запала, как это видно из приведенного примера, также могут быть применены известные смеси и известные технологии.

Таким образом, предлагаемый способ центробежного литья с применением алюмотермии обладает промышленной применимостью.

Библиографический список

1. **Малкин, Б. В.** Термитная сварка / Б. В. Малкин, А. А. Воробьев. – М.: Машгиз, 1963.
2. **Кувшинова, Н. Н.** Актуализация внедрения алюмотермии как ресурсо- и энергосберегающей технологии в сталелитейную промышленность / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск: «Безопасность. Технологии. Управление», 2007. Т 1. – Самара: издательство Самарского научного центра РАН, 2007. С. 168–175.
3. **Гини, Э.Ч.** Технология литейного производства. Специальные виды литья : учебник / Э.Ч. Гини, А. М. Зарубин, В. А. Рыбкин; под ред. В.А. Рыбкина. – М.: Академия, 2005. – 352 с.
4. Пат. РФ № 2129057. Способ центробежной наплавки / Кувшинова Н. Н., Казаков Ю. В.М. Кл. В22Д19/10, В23К23/00. – 96119909/02; Заявл. 01.10.96; Оpubл. 20.04.99, Бюл. № 11.

*Дата поступления
редакцию 11.12.2014*

N. N. Kuvshinova

THE POSSIBILITY OF ALUMINOTHERMIC PROCESS APPLICATION IN CENTRE DIE CASTING

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

The history of aluminothermics and fields of application are described. The possibility of aluminothermy application for cast production by means of centrifugal (centre die) casting process is studied.

Key words: aluminothermy, thermit charge, iron dross, centre die (centrifugal) casting, energy saving.

УДК 621.791.92

Н.Н. Кувшинова

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОЙ НАПЛАВКИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приводится описание основных способов экзотермической наплавки и областей ее применения. Рассматривается влияние параметров экзотермической наплавки на ее качество. Представлены направления развития экзотермической наплавки.

Ключевые слова: экзотермическая наплавка, термитная шихта, железная окалина, качество наплавки.

Экзотермическая наплавка представляет собой процесс нанесения на поверхность металлической детали жидкого металла заданного химического состава, получаемого в результате экзотермической реакции металла-восстановителя с окислом металла. Образующаяся при этом окись металла-восстановителя уходит в шлак и служит защитой восстановленного металла от атмосферного воздействия.

Алюминий имеет большее сродство к кислороду, чем большинство других металлов. Поэтому ему отдается предпочтение как металлу-восстановителю (реакцию называют еще и алюминотермитной), причем он относительно дешев и имеется в достаточном количестве. В качестве оксида металла чаще всего применяют содержащую оксиды железа железную окалину или железную руду. Продуктами реакции являются железо, восстанавливаемое из оксидов (термитная сталь) и оксид алюминия (термитный шлак). Обычно получают 50% железа и 50% шлака [1, 3, 4].

Экзотермическая наплавка имеет преимущества перед другими способами сварки прежде всего отсутствием источника электрической энергии и применением в качестве компонентов термитной шихты дешевых порошков первичного алюминия и отхода металлургического производства – железной окалины, а также высокой скоростью экзотермической реакции – до двух тонн металла может наплавиться всего за 20 секунд. Однако длительные подготовительные работы и трудности контролирования самого процесса наплавки существенно ограничивают область применения экзотермической наплавки.

Расширение технологических возможностей наплавки может внести свой вклад в решение проблем энерго- и ресурсосбережения. И прежде всего, необходимы сведения о состоянии развития экзотермической наплавки до настоящего времени, чтобы наметить перспективы для дальнейших исследований и разработок.

Целью данной работы является определение направлений для расширения технологических возможностей экзотермической наплавки. Пути для достижения цели в данной работе служат анализ и систематизация известных способов экзотермической наплавки и областей ее применения. Основными областями применения термитной наплавки на сегодняшний день являются транспортная и ремонтно-литейная промышленность. Более наглядно связь между способами экзотермической наплавки и областями ее применения представлена на рис. 1.

В транспортной промышленности термитную наплавку используют на железных дорогах при восстановлении изношенных частей рельсов и при прокладке нефте- и газопроводов для приварки (наплавки) к трубопроводу электрохимической защиты.

Изнаненную часть рельсов восстанавливают литьем расплавленного металла или тигельным способом (рис. 2).

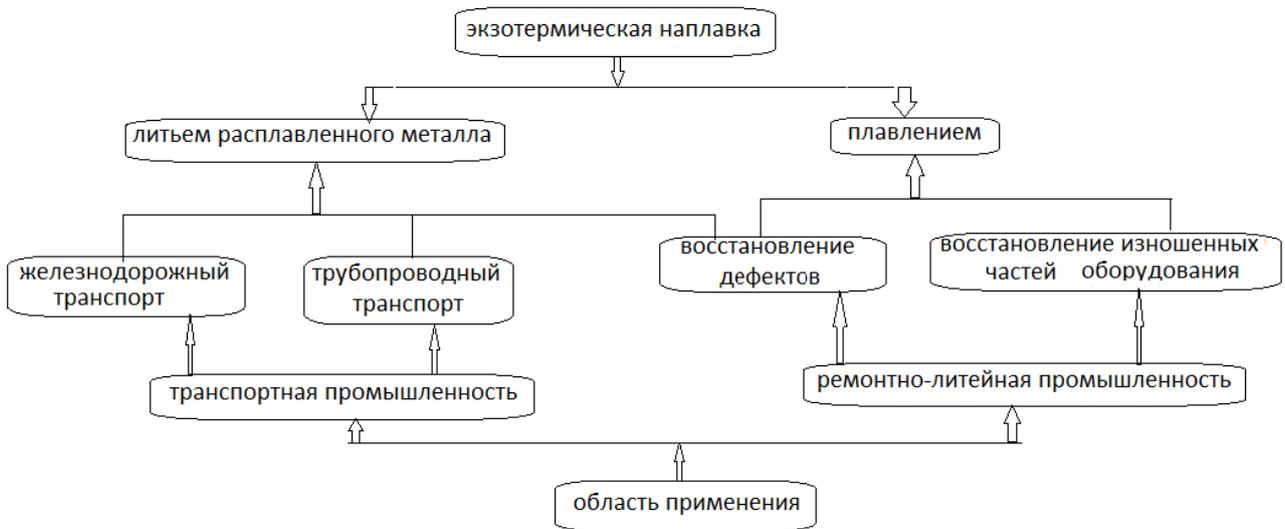


Рис. 1. Способы и область применения экзотермической наплавки

При этом способе [2; 3; 4] зону дефекта нагревают до 800...1000°С. Термитную шихту засыпают в тигель и доводят до реакции. Расплавленную термитную сталь выливают из тигля в сварочную форму, расположенную в зоне наплавки на наплавляемой поверхности или охватывающую наплавляемую деталь. Чаще всего, форму выполняют из песчано-глинистой смеси. Форма формирует заливаемый металл и служит теплоизолятором, уменьшая потери тепла. Конфигурация формы зависит от конструкции обрабатываемой детали. В зависимости от этой конфигурации подвод металла может производиться сверху или сбоку. Расплавленный металл плавит подогретый основной материал на поверхности их контакта. Возникает сварное соединение наплавленного металла с основным.

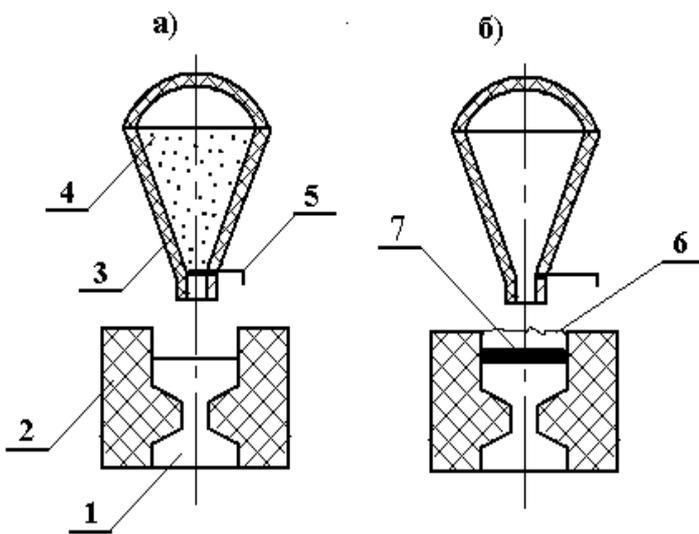


Рис. 2. Схема экзотермической наплавки литьем расплавленного металла:

- а – до реакции,
- б – после реакции.
- 1 – деталь,
- 2 – ограждение,
- 3 – тигель,
- 4 – термитная шихта,
- 5 – заслонка,
- 6 – термитный шлак,
- 7 – наплавка

Тигель для наплавки литьём представляет собой конусообразную огнеупорную ёмкость, выполненную чаще всего из магнезита, с крышкой или без неё. В его нижней части имеется отверстие с заслонкой. Через это отверстие после удаления заслонки сливается в сварочную форму термитный металл и выпускается шлак.

В качестве шихты при восстановлении изношенной части рельса используют железоалюминиевый термит. Порции термита для наплавки рельсов рекомендуют применять от

трех килограмм и выше, так как для качественного соединения требуются относительно большие порции шихты.

Суть приварки электрохимической защиты к стенке трубопровода представлена на рис. 3 [5].

На предварительно зачищенную и обезжиренную поверхность трубопровода 5 устанавливают форму 1, снабженную термитной смесью 2, термopоджигом (запалом) 6 и огнепроводным шнуром 7, затем вводят в литниковую систему формы вывод ЭХЗ 3, далее поджигают огнепроводный шнур 7, посредством которого воспламеняется термopоджиг 6, передающий тепловой импульс термитной смеси 2 и в результате экзотермической реакции наплавляемый металл заполняет литниковую часть формы 1 и происходит приварка вывода ЭХЗ 3 к стенке газопровода.

В качестве шихты для приварки (наплавки) выводов электрохимической защиты (ЭХЗ) используют как железоалюминиевый термит, так и медный термит (термит на основе оксидов меди) [5].

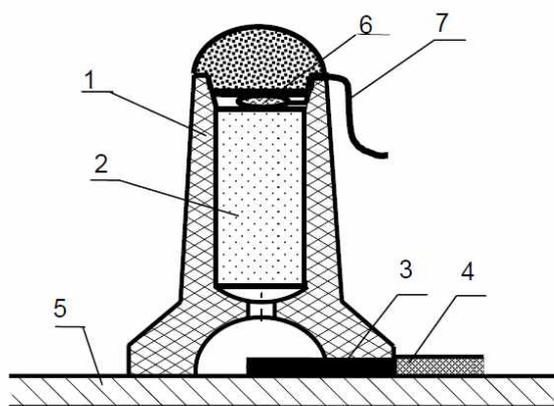


Рис. 3. Схема экзотермической приварки (наплавки) вывода электрохимической защиты (ЭХЗ):

1 – разовая тигель-форма; 2 – термитная смесь; 3 – вывод ЭХЗ;
4 – провод вывода ЭХЗ; 5 – стенка газопровода; 6 – термopоджиг; 7 – огнепроводный шнур

Форма для наплавки может быть как разового, так и многоразового использования. Форму многоразового использования выполняют чаще всего из графита [5]. Такую форму выпускают серийно и ее можно приобрести в специализированных магазинах. Применение уже готовых форм значительно облегчает подготовительные работы.

Порции термитной шихты для приварки ЭХЗ относительно небольшие, от 50 г. Компоненты этой шихты более тщательно подготовлены и состоят не из отходов, а из специальных химически чистых окислителя и восстановителя. Это обуславливает их более высокую стоимость, а также достаточно высокое качество соединения основного металла с наплавленным.

Благодаря высокому качеству наплавки, отсутствию электроэнергии и достаточно простым подготовительным работам экзотермическая наплавка заняла лидирующее положение перед двумя другими применяемыми для этих же целей способами наплавки – ручной дуговой и конденсаторной.

В ремонтно-литейной промышленности экзотермическую наплавку применяют для исправления поверхностных дефектов литья и восстановления изношенных частей машин и

оборудования. Основным способом наплавки в этой области — это экзотермическая наплавка плавлением.

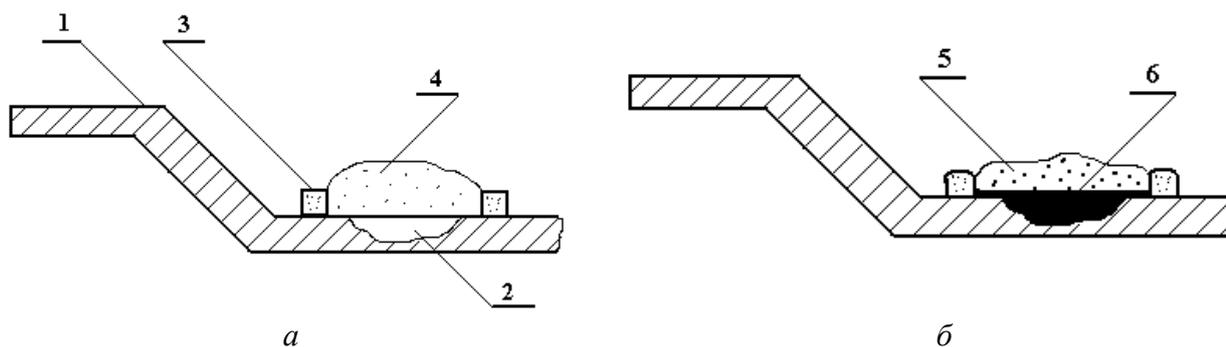


Рис. 4. Схема экзотермической наплавки плавлением кокильного дна до реакции (а) и после реакции (б):

1 – стальной кокиль; 2 – дефект; 3 – ограждение (песчаный валик); 4 – термитная шихта;
 5 – термитный шлак; 6 – наплавка (термитная сталь)

При наплавке плавлением поверхность дефекта тщательно зачищают от загрязнений, устанавливают форму – ограждение, конфигурация которого должна соответствовать форме дефекта, и производят предварительный подогрев, если он необходим. Затем на подготовленную поверхность детали в зоне наплавки насыпают термитную шихту и возбуждают экзотермическую реакцию, нагревая шихту, например, пламенем газовой горелки. Температура зажигания термитной смеси лежит между 1300–1400°С. Выделяющееся во время реакции тепло передаётся расплавленным термитным металлом основному металлу детали и оплавляет его. Образуется наплавленный слой.

Наплавку производят в песчаной, керамической или глиняной форме – ограждении, которую устанавливают непосредственно на поверхность детали вокруг места наплавки. Такая форма служит теплоизолятором, уменьшая потери тепла.

Наплавку плавлением применяют для обработки деталей с плоскими поверхностями [4,6]. Хорошие результаты получают при ремонте изношенных поверхностей. Примером применения наплавки плавлением может служить ремонт изношенной части дна стального кокиля (рис. 4).

При наплавке плавлением экзотермическая реакция идёт непосредственно на поверхности обрабатываемой детали. В результате практически отсутствуют затраты тепла на нагрев тигля и на охлаждение продуктов реакции в процессе их заливки в зону наплавки. Это повышает термический КПД процесса, что является несомненным преимуществом наплавки плавлением. Однако для заварки относительно небольших дефектов этот способ практически неприменим, поскольку в этом случае требуется сосредоточить тепловую мощность источника тепла, которым является реагирующая экзотермическая смесь, на небольшой площади, занимаемой дефектом. Способ наплавки плавлением такой концентрации тепла обеспечить не может. Известны также и технологии, сочетающие признаки и экзотермической наплавки плавлением и литьем расплавленного металла, например [7,8].

Существующие ныне технологии экзотермической наплавки позволяют наплавлять лишь в горизонтальном положении и в узких пределах контролировать горение экзотермической смеси. Рассмотрим более подробно недостатки экзотермической наплавки и известные способы борьбы с ними.

Горение термитной шихты характеризуется интенсивностью разбрызгивания и при неудачном сочетании компонентов термитной шихты – пироэффектом. Во время горения или химической реакции компонентов шихты внешнее вмешательство практически невоз-

можно, поэтому следует очень тщательно изначально подбирать количество, состав шихты и соответствующую для нее оснастку. Так, известно для стабилизации горения введение в шихту технологических добавок, например, соды или стальной обечки [1, 3].

Конфигурация формы также влияет на качество наплавки: максимально закрытая форма может минимально снизить разбрызгивание и максимально сосредоточить тепло на наплавляемом участке.

Не последнюю роль играет и предварительный подогрев зоны наплавки. При приварке выводов ЭХЗ используют небольшие порции шихты с более тонко измельченными компонентами – предварительный подогрев не требуется.

При использовании способа наплавки плавлением, когда шихту засыпают в сам дефект, подогрев осуществляют от 200 до 600 °С. Меньше нижнего предела – возможен не провар, выше – раннее воспламенение шихты при насыпании в полость дефекта, а также возрастает вероятность возникновения прожога, ведь данный способ наплавки подходит только для больших порций шихты от нескольких десятков килограмм и более. А чем больше порция шихты, тем соответственно больше и ее теплотворная способность.

При тигельном способе наплавки или литьем расплавленного металла подогрев осуществляют от 850 до 900 °С. Высокий предварительный подогрев здесь компенсирует потери тепла, расходуемые на стенки тигля, конвекцию и излучение, а также на расстояние,ходимое металлом от тигля до основного металла.

Наиболее перспективным направлением дальнейших разработок в области термитной наплавки может быть восстановление дефектов стального литья и железосодержащих сплавов и их изделий.

Во-первых, такие изделия широко применяются в промышленности.

Во-вторых, в качестве составляющих шихты используется железная окалина – отход металлургического производства, что поможет решить проблему ресурсосбережения.

В- третьих, хорошо освоена и изучена технология только для восстановления крупных дефектов, разработки для исправления дефектов различной конфигурации и величины сделали бы экзотермическую наплавку более универсальной.

Таким образом, чтобы расширить технологические возможности экзотермической наплавки целесообразно разработать рабочие технологические процессы заварки дефектов стального литья и железосодержащих сплавов применительно к условиям крупносерийного и массового производства. Это можно сделать с помощью классификации типоразмеров литых деталей, сталей, из которых они изготавливаются, а также типов, размеров и характера залегания дефектов на поверхности этих деталей. На основе этой классификации должны быть выделены типовые группы деталей с типовыми дефектами, для которых следует разрабатывать рабочие технологические процессы.

Библиографический список

1. **Кувшинова, Н. Н.** Энергосберегающая технология наплавки стальных деталей // Сварочное производство. 2010. №1. С. 12–14.
2. **Генкин, И. З.** Сварные стрелочные переводы / И. З. Генкин [и др.] // Вестник ВНИИ железнодорожного транспорта, 1997. С. 23–29.
3. **Малкин, Б. В.** Термитная сварка / Б. В. Малкин, А. А. Воробьев. – М.: Машгиз, 1963.
4. **Нойман, А.** Сварка, пайка, клейка и резка металлов и пластмасс: справочник / А. Нойман, Е.Рихтер. – М.: Металлургия, 1980. С. 24–27.
5. СТО Газпром 2–2.2–136–2007
6. А. с.о СССР № 1727969. Способ ремонта изделий с открытыми дефектами поверхности., Гейченко В.Н., Садовский В.А. и др. от 06.12. 1989. МКИ В23К23/00; В23Р6/04

7. Пат. РФ № 2182063. Способ ремонта деталей с открытыми поверхностными дефектами / Казаков Ю.В., Корнилов В.А., Кувшинова Н.Н. М. Кл. В23Р6/00, В23К23/00. – 99123784/02; Заявлено 11.11.99; Опубл. 10.05.2002, Бюл. № 13.
8. Пат. РФ № 2039639. Способ термитной сварки и термостержень для термитной сварки / Амосов А.П., Самборчук А.Р. и др., от 01.07. 1993. МКИ В23К23/00.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

N. N. Kuvshinova

FIELDS OF DEVELOPMENT OF EXOTHERMIC WELD OVERLAYING

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

A description of the main methods and fields of application of exothermic weld overlay is provided. The effect of parameters of exothermic weld overlay on its quality is studied. Fields of development of exothermic weld overlay are presented.

Key words: exothermic weld overlay, thermit charge, iron dross, weld overlay quality.

УДК 629.124.791

Н.Е. Тихонова

**ОПТИМИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ФОРМЫ КОРПУСА ЛЕДОКОЛА
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены математическая модель проектирования речного ледокола и обобщённые критерии оптимизации, учитывающие разнообразие ледовых условий в районе эксплуатации. Предложены способы задания ледовых условий. Показано влияние распределения ледовых условий на оптимальные проектные характеристики речного ледокола. Произведено сравнение оптимальных вариантов с существующими речными ледоколами.

Ключевые слова: ледовые условия, ледокол, основные элементы, форма корпуса, критерии оптимизации.

Структура ледовых условий для разных районов внутренних водных путей существенно различается [1, 2, 3]. В настоящей работе исследуется, каким образом район эксплуатации, а, следовательно, и распределение ледовых условий влияют на выбор основных элементов и формы корпуса речного ледокола.

Факт зависимости оптимальной формы носовой оконечности морского ледокола от ледовых условий, полученный с помощью расчётных методов и модельных испытаний, отмечен еще в работе [4]. Настоящее исследование базируется на теоретических методах и осуществляется с помощью математической модели проектирования речного ледокола. Математическая модель включает аналитические уравнения проектирования, ограничения, генерирование теоретического чертежа, алгоритмы расчёта ледовой ходкости, алгоритмы проверочных общесудовых расчётов. В состав системы аналитических уравнений проектирования включены уравнения масс, плавучести, ходкости, остойчивости. Ледовое сопротивление рассчитывается методом [2, 5], наиболее полно учитывающим форму корпуса ледокола.

Следует отметить, что исследование влияния формы корпуса на ледовую ходкость в отрыве от главных размерений недостаточно корректно. Это объясняется тем, что изменение формы корпуса влечёт за собой изменение коэффициентов полноты, а, следовательно, и других проектных характеристик.

В указанной математической модели проектирования ледокола все основные проектные характеристики, включая форму корпуса, взаимно увязаны с помощью аналитических уравнений проектирования, перечисленных выше.

Математическая модель позволяет оптимизировать основные проектные характеристики ледокола, а именно: водоизмещение, главные размерения, мощность главных двигателей, число и геометрические характеристики гребных винтов, параметры, характеризующие форму носовой оконечности.

Разнообразие ледовых условий может быть представлено в виде некоторой матрицы распределения ледовых условий по району плавания или просто матрицы ледовых условий. Следует отметить, что речные ледоколы в основном работают на разрушение сплошного ледяного покрова. Другие ледовые условия если и встречаются, то занимают малую долю от общего времени работы ледокола во льдах. Поэтому в данной работе ограничимся рассмотрением ледовых условий, включающих сплошной ледяной покров разной толщины. Матрица ледовых условий может иметь, например, следующий вид.

Таблица 1

Матрица ледовых условий

Толщина льда	h_1	h_2	...	h_n	$\Sigma d_i = 1$
Доля данной толщины льда	d_1	d_2	...	d_n	

Доля толщины льда d_i в зависимости от способа задания ледовых условий может быть представлена двояко [2, 5]. В первом случае это относительное время плавания \bar{t}_i ($\Sigma \bar{t}_i = 1$) в конкретных ледовых условиях. Во втором случае это относительная протяжённость участка трассы \bar{l}_i ($\Sigma \bar{l}_i = 1$) с постоянными ледовыми условиями. В зависимости от представления d будем говорить о первом и втором способах задания ледовых условий.

Оптимизация осуществляется по обобщённым критериям [2, 3]. Для первого способа задания ледовых условий обобщённые критерии выглядят следующим образом:

$$K_1 = \sum C_i \bar{t}_i / \sum V_i \bar{t}_i; \quad K_2 = q_T \sum N_i \bar{t}_i / \sum V_i \bar{t}_i.$$

При задании ледовых условий вторым способом обобщённые критерии будут иметь вид:

$$K_1 = q_T \sum (N_i / v_i) \bar{l}_i; \quad K_2 = \sum (C_i / v_i) \bar{l}_i,$$

где K_1 - относительный расход топлива главными двигателями на ледокольную работу, кг/км; K_2 - удельные приведённые затраты на ледокольную работу, тыс. руб./км; C - приведённые затраты, руб/ч; v - скорость судна, км/ч; N - суммарная мощность на гребных валах, кВт; q_T - удельный расход топлива главными двигателями, кг/кВт·ч.

Критерии оптимизации называются обобщёнными по той причине, что они учитывают разнообразие ледовых условий в районе эксплуатации, и для одного и того же судна критерии принимают различные значения в зависимости от задания распределения ледовых условий. Математическая модель проектирования речного ледокола реализована в виде пакетов прикладных программ для ПЭВМ и позволяет решать оптимизационные задачи для любого содержания матрицы ледовых условий.

Для того чтобы наиболее наглядно и выпукло проиллюстрировать влияние структуры ледовых условий на результат оптимизации проектных характеристик ледокола, приведём некоторые гипертрофированные примеры. Будем считать, что ледокол проектируется на преодоление сплошного льда толщиной 0,75 метра непрерывным ходом. Рассмотрим следующие варианты задания ледовых условий. Во всех вариантах ледовые условия будем задавать вторым способом, то есть через относительные протяжённости участков трассы.

В одном случае в районе эксплуатации встречается лёд одной толщины - 0,75 метра (1-й вариант).

Согласно другому варианту задания, в районе эксплуатации встречаются две толщины льда: толстый лёд (толщиной 0,75 м) и тонкий лёд (0,4 м). Рассмотрим разные распределения между тонким и толстым льдом. В одном случае примем, что толстый лёд составляет 90% от длины трассы, а тонкий - 10% (2-й вариант), а в другом случае - наоборот (3-й вариант).

Другие элементы технического задания на проектирование, включающие ширину канала или ширину судна, максимальную осадку, автономность и число членов экипажа, примем как у речных ледоколов проектов 1105 и 1191. Эти ледоколы отличаются лишь максимальной осадкой, которая при полных запасах составляет у ледокола проекта 1105 - 3,6 метра, а у ледокола проекта 1191 - 2,8 метра. Ширина судов обоих проектов при указанных осадках составляет 16,2 метра. Число винтов, тип кормового заострения, диаметр винтов и шаговое отношение будем принимать как у одного из указанных проектов соответственно осадке.

Таким образом, учитывая три варианта задания ледовых условий, описанных ранее, и два варианта остальных элементов технического задания на проектирование, имеем шесть вариантов задания на оптимизацию ледокола. Варианты 1,2 и 3 соответствуют техническому заданию на проектирование ледокола проекта 1105 и соответственно 1,2 и 3 вариантам задания ледовых условий. Варианты 4,5 и 6 соответствуют техническому заданию на проектирование ледокола проекта 1191 и соответственно 1,2 и 3 вариантам задания ледовых условий.

Результаты оптимизации по 1 и 2 вариантам задания оказались одинаковыми, что объясняется малым различием в ледовых условиях. То же самое можно сказать о вариантах 4 и 5. Поэтому варианты 2 и 5 из дальнейшего рассмотрения исключаем.

На рис. 1 и 2 приведены теоретические корпуса носовой оконечности ниже КВЛ ледоколов проектов 1105 и 1191. А на рис. 3, 4, 5, 6 приведены теоретические корпуса ледоколов, полученные в результате оптимизации по описанным техническим заданиям.

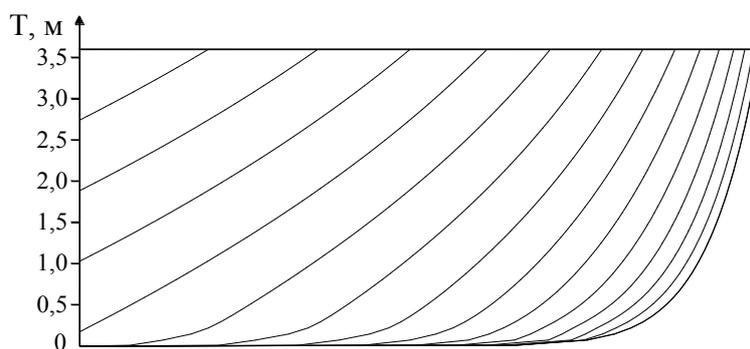


Рис. 1. Теоретический корпус носовой оконечности ледокола проекта 1105 ниже КВЛ

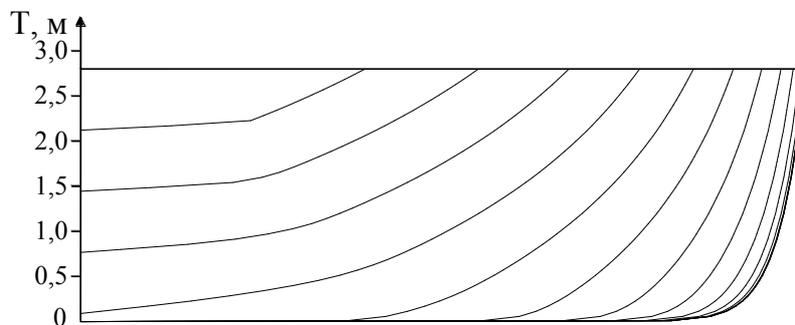


Рис. 2. Теоретический корпус носовой оконечности ледокола проекта 1191 ниже КВЛ

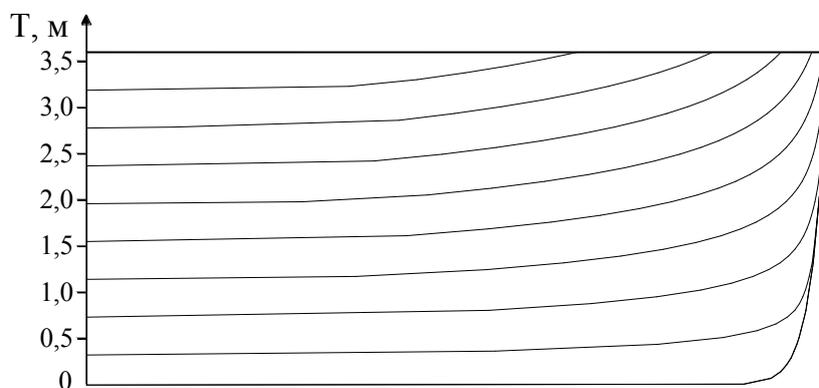


Рис. 3 Теоретический корпус носовой оконечности варианта 1 ниже КВЛ

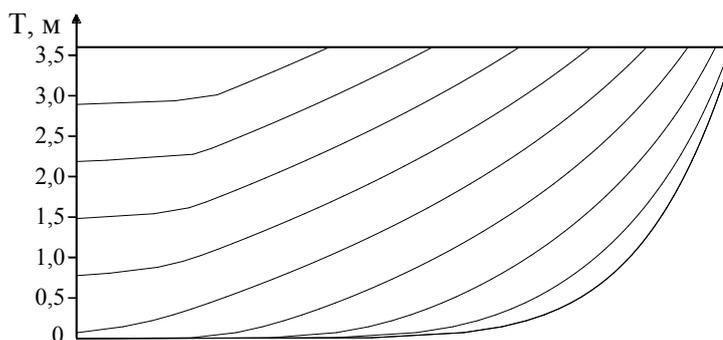


Рис. 4. Теоретический корпус носовой оконечности варианта 3 ниже КВЛ

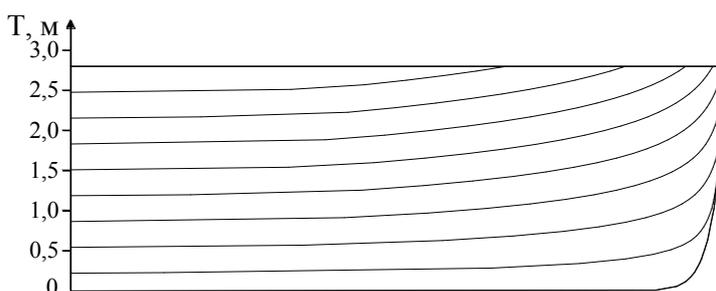


Рис. 5. Теоретический корпус носовой оконечности варианта 4 ниже КВЛ

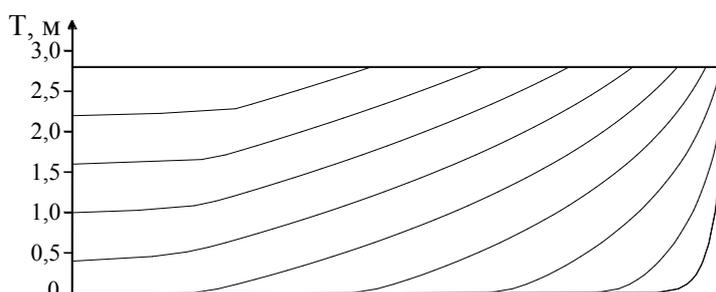


Рис. 6. Теоретический корпус носовой оконечности варианта 6 ниже КВЛ

В табл. 2 приведены основные элементы ледоколов проектов 1105 и 1191 и вариантов проектов, полученных в результате оптимизации. В графах таблицы, соответствующих критериям оптимизации и средней скорости проектов 1105 и 1191 значения над чертой относятся к первому варианту задания ледовых условий, а под чертой – к третьему. Как видно из таблицы, соотношение K_1 / K_2 является довольно стабильным, т. е. удельные приведённые затраты на ледокольную работу прямо пропорциональны относительному расходу топлива главными двигателями.

Из табл.2 видно, что для рассматриваемых ледовых условий критерии ледоколов с проектными характеристиками, полученными в результате оптимизации, оказались лучше соответствующих критериев речных ледоколов проектов 1105 и 1191. Особенно разница заметна для случая, когда в качестве ледовых условий принимался толстый лёд на всём протяжении трассы. Также можно увидеть, что между проектом 1191 и соответствующими ему оптимальными вариантами существует меньший разрыв в критериях оптимизации по сравнению с ледоколом проекта 1105. Это объясняется тем, что ледокол проекта 1191 более поздней постройки и имеет форму корпуса близкую к современным обводам.

Таблица 2

Основные элементы, параметры и критерии оптимизации разных вариантов проекта речного ледокола

Обозначение проекта или варианта	проект 1105	проект 1191	вариант 1	вариант 3	вариант 4	вариант 6
Длина по КВЛ L , м	73	73	64,8	60,8	68,9	64,8
Ширина по КВЛ B , м	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2
Осадка T , м	3,6	2,8	3,6	3,6	2,8	2,8
Длина цилиндрической вставки $L_{\text{цил.}}$, м	7,1	27,4	18	4	45	30
Длина носового заострения $L_{\text{н.з.}}$, м	33	31	13,75	23,7	9,2	20,15
Коэффициент полноты водоизмещения δ	0,60	0,74	0,673	0,53	0,795	0,717
Коэффициент полноты носового заострения $\delta_{\text{н.з.}}$	0,55	0,68	0,45	0,45	0,45	0,525
Коэффициент полноты мидель-шпангоута β	0,93	0,965	0,98	0,88	0,98	0,98
Коэффициент полноты носовой ветви КВЛ $\alpha_{\text{н.з.}}$	0,72	0,83	0,9	0,75	0,9	0,8
Угол наклона форштевня к горизонту φ_1	20	17	15	15	17	15
Угол притыкания КВЛ к ДП φ_2	35	90	90	90	90	90
Число винтов z	3	4	3	3	4	4
Шаговое отношение H/D	0,55	0,74	0,55	0,55	0,74	0,74
Водоизмещение с полными запасами D , т	2554	2450	2543	1877	2483	2108
Мощность на фланцах двигателей N , кВт	4650	4815	4575	3330	4909	4141
Автономность A , сут.	20	20	20	20	20	20
Число членов экипажа n , чел.	28	28	28	28	28	28
K_1 , кг/км	385/127	388/120	194	83	273	103
K_2 , тыс. руб./км	1,8/0,6	1,8/0,55	0,93	0,4	1,21	0,46
Средняя скорость прохождения трассы $v_{\text{ср.}}$	0,67/2,04	0,69/2,24	1,31	2,24	1,0	2.23
K_1/K_2	214/210	216/218	209	208	226	224

На рис. 7 и рис. 8 приведены диаграммы ледопроеходимости ледоколов проектов 1105 и 1191 и рассматриваемых вариантов проектов.

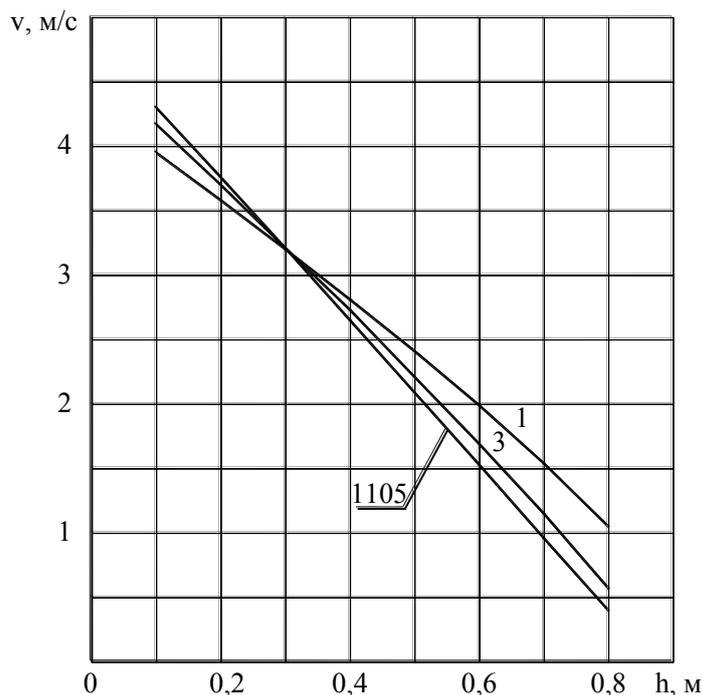


Рис. 7. Диаграммы ледопроеходимости ледокола проекта 1105 и вариантов проектов 1 и 3

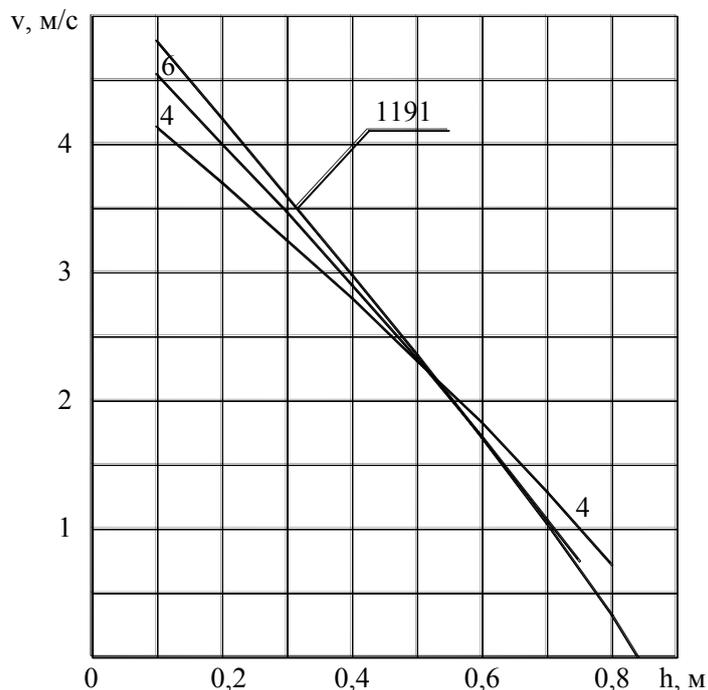


Рис. 8. Диаграммы ледопроеходимости ледокола проекта 1191 и вариантов проектов 4 и 6

Анализ результатов оптимизации показывает следующее. Проектные характеристики судов, получаемых в результате оптимизации, зависят от ледовых условий, для работы в которых проектируется судно. Это объясняется изменением баланса составляющих ледового сопротивления в зависимости от ледовых условий. При малых толщинах льда и относительно больших скоростях существенную роль играют скоростные составляющие сопротивления обломков – инерционная и гидродинамическая. Оптимальные корпуса для толщины льда,

близкой к предельной, имеют большую цилиндрическую вставку и форму обводов носового заострения с очень полными ватерлиниями. Такие обводы обеспечивают минимум сопротивления разрушению льда. Для более лёгких ледовых условий, напротив, необходимо уменьшать скоростную составляющую сопротивления. Это достигается применением более острых обводов для носовой оконечности судна.

Наличие у оптимальных корпусов большой цилиндрической вставки, особенно у спроектированных для толстого льда, можно объяснить следующим образом. Применение цилиндрической вставки позволяет получить большее водоизмещение при данных главных размерениях и, следовательно, большую мощность энергетической установки. Наибольшей длины цилиндрическая вставка достигает при существенном ограничении осадки, что можно увидеть на примере ледокола проекта 1191 и вариантов, полученных путём оптимизации при той же осадке. С другой стороны, увеличение длины цилиндрической вставки при малых скоростях движения судна слабо сказывается на увеличении ледового сопротивления.

Следует отметить, что полученные оптимальные корпуса для толстого льда не противоречат применяемым в последнее время новым формам обводов корпуса. В качестве примера можно привести австрийский ледокол “Röthelstein” постройки 1996 года.

С помощью математической модели проектирования речного ледокола осуществляется приоритетное проектирование на работу во льду. Если предполагается двойное использование ледокола или если проектант не устраивают главные размерения или обводы корпуса, полученные в результате оптимизации, математическая модель позволяет ограничить один или несколько параметров оптимизации с тем, чтобы найти оптимальный вариант в пределах заданных ограничений.

Библиографический список

1. **Ионов, Б.П.** Ледовая ходкость судов / Б.П. Ионов, Е.М. Грамузов. – СПб.: Судостроение. 2001. – 512 с.
2. **Ионов, Б.П.** Проектирование ледоколов / Б.П. Ионов, Е.М. Грамузов, В.А. Зуев. – СПб.: Судостроение. 2013. – 512 с.
3. **Зуев, В.А.** Средства продления навигации на внутренних водных путях / В.А. Зуев. – Л.: Судостроение, 1986. – 207 с.
4. **Каштелян, В.И.** Оценка ледовых качеств ледоколов, отличающихся формой обводов корпуса, с учётом плавания в различных ледовых условиях // Теория, прочность и проектирование судов, плавающих во льдах : межвуз. сб. / НГТУ. – Н. Новгород, 1995. С. 6–8.
5. **Зуев, В.А.** Обоснование выбора проектных характеристик речных ледоколов / В.А. Зуев, Н.Е. Тихонова // 3-я международная конференция по морским интеллектуальным технологиям: мат. конференции, сб. докладов. – С. Петербург, 1999. Т1. С. 42–45.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

N.E. Tikhonova

OPTIMIZING OF THE BASIC ELEMENTS AND SHELL ARCHITECTURE OF AN ICEBREAKER DEPENDING ON THE ICE CONDITIONS

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

A mathematical model of the design of river icebreakers and generalized optimization criteria considering the variety of ice conditions in the area of operation are presented. The ways of ice conditions setting are suggested. The effect of the distribution of ice conditions on the optimal design characteristics of river icebreaker is showed. Comparison of the best options with existing river icebreakers is made.

Key words: ice conditions, icebreaker, basic elements, shell architecture, optimization criteria.

УДК 378

Г. Е. Польшин

ФОРМИРОВАНИЕ КОНТИНГЕНТА СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО КУРСА В УНИВЕРСИТЕТЕ И НЕКОТОРЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ВОЗНИКАЮЩИХ ПРОБЛЕМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Рассмотрена проблема качества приема студентов на первый курс и подготовки специалистов для промышленных предприятий, научно-исследовательских учреждений и проектно-конструкторских организаций Нижегородского региона на современном этапе. Определены структуры для взаимовыгодного сотрудничества в образовательном процессе учащихся средних школ, обозначены направления и задачи, решаемые каждой структурой для обеспечения воспитания, обучения и образования молодежи, обладающей необходимыми профессиональными способностями на различных этапах жизненного пути.

Ключевые слова: прием студентов на первый курс, вступительные экзамены, профессиональная ориентация, профильная подготовка, специализированный учебный план, профессиональные склонности учащихся.

Количественные и качественные параметры состава студентов первого курса являются важными характеристиками, контролируемыми Министерством образования и науки РФ, и обязательными для неукоснительного исполнения (контрольные цифры приема и допустимые минимальные баллы по предметам ЕГЭ, заявленных на вступительных экзаменах), с одной стороны, а с другой стороны, задающими и определяющими начальные потенциальные возможности подготовки в нашем университете специалистов высшего профессионального образования для промышленных предприятий, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций Нижнего Новгорода, Нижегородского региона и страны.

Опыт нашего университета показывает, что для успешного выполнения поставленных задач необходимо обеспечение следующих условий:

- создание постоянного потока поступающих необходимой численности для комплектования контингента студентов на конкурсной основе, то есть в условиях отбора наиболее способных и образованных;
- наличие абитуриентов, осознанно выбирающих специальность (направление) получения высшего профессионального образования (ВПО), подготовленных к успешному обучению и освоению основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) выбранного направления (специальности) ВПО, адаптированных к вузовской системе обучения (семестровая система оценивания знаний, развитые способности самоконтроля, самоорганизации и самообразования).

В период 1990-2005 годов в университете функционировала достаточно эффективная система формирования состава студентов первого курса [1]. Эта система имела следующие принципиальные особенности.

- Применялись различные виды вступительных экзаменов: «совмещенные» экзамены, централизованное тестирование обычной и повышенной сложности, собственно университетские вступительные экзамены, университетские олимпиады-экзамены с 10-бальной шкалой оценивания результатов (10–9 баллов — победитель, 8–6 — призер, 5–3 — как обычные оценки вступительных экзаменов).
- Проходной балл определялся только по результатам сдачи базовых профильных предметов: математики, физики или химии (для специальностей химического профиля). Знания по русскому языку и литературе оценивались только как «зачет» или «незачет».
- В режиме сотрудничества с университетом существовала система базовых школ (в Нижнем Новгороде и области и даже за её пределами). В школах формировались профильные классы, в которых обучение проводилось по специализированным учебным планам с расширенным изучением физики, математики, химии, информатики, черчения,

с введением элективных курсов профориентационной направленности на специальности университета, с обязательными дополнительными двухгодичными занятиями по физике и математике, которые проводили преподаватели университета.

Функционировала эффективная система подготовительных курсов очной и заочной форм обучения для подготовки к вступительным экзаменам учащихся из других, не базовых школ. Данная структура довузовской подготовки университета обеспечивала до 65–70 % плана приема студентов бюджетной формы подготовки. Из базовых школ поступали в университет от 20 до 50 человек, а из лицея № 38, имеющего 4–5 профильных классов нашей направленности — до 100–120 человек.

Разнообразие видов вступительных экзаменов, оценивание знаний на вступительных экзаменах по базовым профильным предметам, существенная доля в потоке поступающих в университет выпускников базовых школ обеспечивали формирование контингента студентов первого курса из абитуриентов наиболее способных и подготовленных к успешному обучению в вузе.

В последние годы в силу появления объективных, независящих от вуза, причин государственного и регионального уровней наметились определенные проблемы, которые оказывают самое непосредственное влияние на прием студентов на первый курс.

- Предельное уменьшение видов вступительных экзаменов: с 2009 года — только единый государственный экзамен (ЕГЭ).
- Проходной балл определяется как суммарный балл по трем предметам, один из них — русский язык — является непрофильным для технических специальностей, следовательно, нельзя при зачислении реализовать преимущественное поступление абитуриентов, имеющих более высокие баллы по профильным математике и физике.
- Определенное негативное влияние оказывает используемая 100-балльная шкала оценивания. Такая широкая шкала в условиях даже сравнительно высокого проходного балла на уровне 170–180 баллов и тем более при разрешаемых Министерством образования и науки РФ в диапазоне 120–130 баллов, не мотивирует абитуриентов при подготовке к экзамену на более основательное изучение предмета с получением более высокого балла (от 85 до 100).

К сожалению, в нашем регионе имеются и другие причины не распространенности получения высоких баллов ЕГЭ, например, по физике, связанные с проблемами преподавания этого предмета из-за нехватки учителей в школах не только в регионе, но и в Нижнем Новгороде.

Следствием наличия этих явлений являются не только сравнительно невысокие баллы ЕГЭ по физике, но и даже «боязнь» учащихся сдавать экзамен по этому предмету и наличие у учителей физики твердого убеждения не рекомендовать выпускникам сдавать этот предмет, чтобы не «портить» отчетную статистику школы по ЕГЭ, что и подтверждается значительно более низкой распространенностью экзамена по физике по сравнению с другими профильными предметами (например, в 3–4 раза меньше, чем по обществознанию).

- Не хотелось бы осознавать, но приходится признать, что практически распалась система базовых школ, обеспечивавших профильную подготовку школьников с ориентацией на наш университет. Снизился, вплоть до прекращения, вклад базовых школ в формирование контингента студентов первого курса (например, лицей № 87 — 1 человек в 2012 году вместо 20–30 человек раньше). Существенно уменьшилось количество школ, из которых поступает от 10 до 15–20 человек (табл. 1). Даже из лицея № 38 поступает всего 60–80 человек по сравнению с прежними 100–120 человеками. Соответственно увеличилось количество школ, из которых в наш университет поступают выпускники в очень малом количестве (от 1 до 2–3 человек), что значительно снижает возможность для эффективного сотрудничества.

Численность выпускников, поступивших на первый курс из базовых школ

Наименование школы, лицея	2013 год поступления	2014 год поступления
школа № 7	15	6
лицей № 8	8	6
школа № 22	7	6
лицей № 28	11	5
школа № 30	20	10
лицей № 38	78	63
школа № 44	14	6
школа № 55	19	13
школа № 79	14	9
лицей № 82	9	20
школа № 85	19	13
лицей № 87	14	8
школа № 91	16	6
школа № 117	9	8
школа № 128	15	11
школа № 149	7	6
школа № 187	10	5
ЦОД	9	9
школа № 3 г. Кстово	8	8

- Некоторое негативное влияние оказывает снижение численности выпускников в последние годы (табл. 2).

Таблица 2**Численность выпускников средних школ Нижегородского региона**

Год выпуска	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Численность выпускников, чел.	27 661	25 329	23 200	20 700	17 079	15 125	15 075	15 252	14 355

- Значительно изменились не в нашу пользу приоритеты работы средних школ. Если раньше средние общеобразовательные школы наряду с обеспечением своим выпускникам полного среднего образования вели подготовку их к успешному поступлению и обучению в высших учебных заведениях на основе овладения учащимися необходимого объема знаний по базовым профильным предметам и формирования у них навыков самоорганизации, самообучения и самоконтроля в процессе обучения, и показатели поступаемости учеников в вузы были одними из основных при оценке эффективности работы средних школ, то с введением ЕГЭ, к сожалению, наблюдается снижение заинтересованности средних школ, с которыми университет сотрудничал, в продолжении профильной подготовки своих учащихся с ориентацией на поступление в наш вуз в силу снижения значимости этого показателя при оценке эффективности работы средних школ и появлении ряда других приоритетов, а именно результатов сдачи ЕГЭ а определяющей задачей школ, соответственно, становится не полное и глубокое освоение школьной образовательной программы, а получение навыков успешного прохождения ЕГЭ, для чего является достаточно освоения самого элементарного из всех методических процессов обучения — процесса натаскивания. Результаты ЕГЭ хорошие, а знаний, умений и навыков мало.
- Серьезные изменения произошли со сферами, которые являются потребителями наших выпускников. Произошла ликвидация отдельных предприятий, снизились объемы производства на большинстве предприятий, сменились технологии, прошла реорганизация и реструктуризация предприятий, что неизбежно привело к уменьшению потребностей в специалистах.

Расширились или возникли новые сферы деятельности (банковское дело, торговля, логистика, юриспруденция, развлекательные услуги, управление и организация, малый и средний бизнес, индивидуальное предпринимательство), что, к сожалению, привело к снижению престижности и привлекательности работы в сферах промышленного производства, научной, проектно-конструкторской деятельности.

Озабоченность сложившейся ситуацией проявляют в структурах, собственно являющихся «потребителями» выпускников средних школ, т.е. в вузах, техникумах и на промышленных предприятиях. Для вузов и техникумов это выражается в том, что является проблема найти «своего» студента, т.е. осознанного выбирающего образовательную программу обучения и успешно ее осваивающую. Для предприятий, аналогично, возникает проблема найти «своего» работника, способного освоить выбранную сферу деятельности и качественно выполнять порученную работу.

Очень простым по сути, очень эффективным в действии и очень дешевым в реализации способом выполнения плана приема студентов является уменьшение контрольных цифр приема. Это направление, кроме того, соответствует рекомендациям Министерства образования и науки РФ по снижению в российских вузах численности студентов и профессорско-преподавательского состава, а также его омоложения. В определенной степени целесообразность применения этого варианта связана также с имеющейся тенденцией некоторого снижения потребностей в специалистах на промышленных предприятиях нашего региона.

Однако при реализации этого способа нужно иметь в виду, что у него есть очень существенный недостаток, наличие которого не только не желательно, но и является абсолютно несовместимым даже с существованием университета. При значительном уменьшении численности приема студентов на первый курс, то есть «на входе», естественно будет снижение численности выпускников «на выходе», а это при хроническом неудовлетворении заявок предприятий и организаций на специалистов может сформировать негативное и очень нежелательное понятие «функциональное несоответствие» статусу ведущего вуза в нашем регионе по подготовке специалистов высшей квалификации для промышленных, научно-производственных и проектно-конструкторских предприятий организаций и объединений, особенно на фоне намечившегося повышения спроса на специалистов.

Понятно, что такая ситуация абсолютно недопустима. Этого нам не простят ни регион, ни предприятия, ни наши выпускники, ни будущие поколения жителей Нижегородского региона. Поэтому необходимы другие пути обеспечения качества приема студентов первого курса.

Решение обозначенных проблем за счет ЕГЭ при существующем отношении к нему властных структур нашей страны абсолютно невыполнимо, особенно в ближайшей перспективе.

Единственным возможным направлением преодоления проблем и доступным для университета является развитие взаимодействия со средними школами Нижнего Новгорода и Нижегородского региона на таких условиях, в таких формах и на таких принципах, которые позволят реализовать в полной мере взаимные заинтересованности, в том числе в обеспечении высоких показателей эффективности работы сотрудничающих сторон как образовательных учреждений. Успех сотрудничества возможен при всестороннем взаимодействии с органами управления образованием города Нижнего Новгорода и Нижегородской области, Министерством образования и науки области, их согласии и поддержке, заинтересованности промышленных предприятий и организаций, а также с учетом следующих особенностей.

Критерии выбора средних школ

- Школа должна быть по статусу или специальной (лицей, гимназия) или с углубленным изучением отдельных предметов, то есть имела право введения профильной подготовки.

- Школа должна быть крупной. Численность 8-ч классов не ниже 3, чтобы можно было сформировать хотя бы один класс, ориентированный на вуз.
- В каждом районе Нижнего Новгорода должна быть хотя бы одна школа, желательно в районах, где расположены профильные университеты предприятия и учреждения, наличие двух-трех школ, а в районах области, где есть предприятия нашего профиля – по одной школе.
- Укомплектованность кадрового состава учителей, в первую очередь по базовым предметам (математика, физика, информатика, химия).
- Наличие возможностей и желания руководства школ обеспечивать углубленное изучение математики, физики, информатики, химии, черчения и компьютерной графики, а при наличии проблем – хотя бы математики и физики.
- Наличие системы профессиональной ориентации школьников младших классов (5-й – 8-й классы).
- Согласие и поддержка органов управления образованием Нижегородского региона (г. Нижний Новгород — для школ города) и районных органов образования (для школ региона).
- Заинтересованность промышленных предприятий, наличие шефских связей со школами.

Требования к учащимся

- Наличие желания у учащихся и согласия их родителей на занятия в соответствующем классе.
- Хорошие оценки, в том числе по базовым предметам, при обучении в 8-м классе.
- Наличие профессиональной склонности к обучению, оцениваемой по результатам прохождения психодиагностического тестирования с использованием комплекса «Профориентатор» [2].
- Наличие интереса к дополнительным занятиям в научном обществе учащихся, к подготовке к олимпиадам и участию в различных творческих испытаниях.
- Активное участие в различных мероприятиях профориентационной направленности для формирования интереса к обучению в нашем университете.
- Развитые навыки самоорганизации, самообучения и самоконтроля.

Особенности обучения учащихся

- Обучение ведется в течение трех лет, начиная с 9-го класса.
- Обучение ведется по специализированным учебным планам в классах с углубленным изучением отдельных предметов.
- Учебные планы должны соответствовать требованиям государственного стандарта среднего образования и должны предусматривать дополнительно наличие следующих элементов:
 - специальные главы математики, физики, химии, информатики, черчения, основ начертательной геометрии, компьютерной графики, профильные направления и специальности обучения в университете;
 - элективные курсы, ориентирующие на специфику направлений и специальностей университета;
 - лабораторные работы технического профиля по изучаемым в 9-11 классах предметам (физика, химия, информатика, безопасность жизнедеятельности, экология и др.) в лабораториях специальных кафедр университета.
- Дополнительные занятия в научном обществе учащихся по тематике, предлагаемой университетом и предприятиями под руководством учителей с консультациями преподавателями университета.
- Подготовка к олимпиадам по базовым предметам под руководством преподавателей университета и участие школьников в олимпиадах.

- Участие школьников в олимпиадах по базовым предметам и других творческих испытаниях (смотры, конкурсы, конференции).
- Участие в научных семинарах и конференциях, организуемых для школьников специальными кафедрами.
- Посещение лектория о направлениях и специальностях университета.
- Участие в экскурсиях на специальные кафедры университета и на предприятия.

Направления работы университета

- Участие в формировании контингента учащихся 9-х классов с углубленным изучением базовых предметов.
- Подбор преподавателей для проведения занятий в школах и контроль качества проведения ими занятий.
- Разработка программ специальных глав базовых предметов, элективных курсов и лабораторных работ.
- Согласование программ по базовым предметам.
- Проведение занятий по спецкурсам, элективным курсам, по лабораторным работам.
- Подготовка учащихся к олимпиадам по базовым предметам.
- Руководство или консультации работ НОУ.
- Проведение семинаров с учителями по рассмотрению вопросов сложных разделов базовых предметов.
- Проведение тематических экскурсий в лаборатории специальных кафедр.
- Регулярное психодиагностическое тестирование учащихся профильных классов с использованием комплекса «Профориентатор».
- Проведение занятий по робототехнике со школьниками 5-8 классов.
- Организация и проведение выездной летней физико-математической школы для учеников 9-10 классов в СОЛ «Ждановец».
- Выездные летние семинары с руководством школ и учителями на базе СОЛ «Ждановец». Повышение квалификации учителей, ведущих уроки по базовым предметам, с выдачей сертификатов, учитываемых при аттестации.
- Поощрение учителей, ведущих активную профориентационную работу со школьниками и подготовку к творческим испытаниям.
- Участие в собраниях с родителями для обсуждения хода обучения учащихся.
- Проведение совещаний с руководством и учителями школ с целью анализа результатов обучения (в конце каждого учебного года) и выработки мероприятий по его совершенствованию (в начале каждого учебного года).
- Совместно со школами проведение контроля качества обучения учащихся.
- Назначение ответственного от университета за проведение организационной и профориентационной работы в школе.
- Проведение совместной работы по отбору учащихся 7–11 классов для подготовки к олимпиадам.
- Организация и проведение творческих испытаний для учащихся 5-8-х классов (олимпиады, смотры, конкурсы).
- Функционирование системы мониторинга обучения выпускников школ в университете, в первую очередь, на младших курсах, и информирование школ о результатах обучения их выпускников.

Направления работы школы

- Проведение необходимых организационных, рекламных и агитационных мероприятий среди учащихся 8-х классов для привлечения школьников в 9-й класс с углубленным изучением отдельных предметов.

- Ежегодное формирование контингента учащихся 9-го класса.
- Разработка учебных планов, учебных программ и проведение занятий по базовым дисциплинам, определенных стандартами среднего образования.
- Участие в согласовании учебных программ специальных глав базовых предметов, элективных курсов, лабораторных работ, учебного плана с углубленным изучением базовых дисциплин.
- Организация активного участия школьников в НОУ, научных семинарах на специальных кафедрах университета, в экскурсиях в лаборатории вуза и на предприятия, в профильных университету творческих испытаниях, в олимпиадах по базовым предметам.
- Регулярное информирование родителей о ходе учебного процесса в специализированном классе.
- Назначение ответственного от школы за проведение организационной и профориентационной работы с учащимися.
- Обеспечение участия школьников в работе летней физико-математической школы на базе СОЛ «Ждановец».
- Привлечение учителей к участию в семинарах по поиску путей повышения качества изучения сложных разделов базовых предметов.

Направления работы предприятий

- Организация и проведение экскурсий.
- Тематические встречи работников предприятия со школьниками.
- Формирование базы данных о темах научно-практических разработок научного общества учащихся.
- Организация и проведение конкурсов научно-исследовательских работ школьников по темам предприятия.
- Ежегодные встречи представителей предприятия совместно с преподавателями университета, с учащимися средних школ и их родителями.

Направления взаимодействия с органами управления образованием

- Согласование профилей обучения и предметов углубленного изучения.
- Рекомендации по разработке учебных планов углубленного изучения предметов.
- Разработка критериев оценки эффективности обучения в классах с углубленным изучением отдельных предметов.
- Разработка статуса семинаров и совместной работы преподавателей университета и учителей средних школ.
- Разработка нормативной базы по организации и проведению конкурсов среди школ с углубленным изучением отдельных предметов и конкурса по профориентационной работе со школьниками, по формированию критериев учета результатов этих конкурсов при оценивании эффективности работы школ на этапе лицензирования, аттестации и аккредитации образовательных учреждений.

Ожидаемые результаты

Для университета:

- создание постоянного потока поступающих необходимой численности для комплектования контингента студентов на конкурсной основе, то есть в условиях отбора и наиболее способных и образованных;
- наличие абитуриентов, осознанно выбирающих специальность (направление) получения ВПО, увеличение численности студентов, подготовленных к успешному обучению и освоению основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) выбранного направления (специальности) ВПО, адаптированных к вузовской системе обучения.

Для учащихся:

- получение объема знаний, достаточного для успешного поступления и обучения в университете;
- формирование системы льгот для поступающих в вуз на основе данных портфолио;
- осознанный в соответствии с собственными наклонностями и способностями выбор направления (специальности), профиля и специализации образовательной программы высшего профессионального образования;
- приобретение навыков обучения, характерных для вузовской системы образования.

Для средних образовательных учреждений:

- повышение статуса школы, как среднего образовательного учреждения с углубленным изучением отдельных предметов;
- гарантированное повышение показателей отчетности по результатам сдачи выпускниками ЕГЭ;
- повышение имиджа школы в среде образовательного сообщества на основе расширения возможностей поступления выпускников школ в вузы (вплоть до 100% поступления).

Для промышленных предприятий и организаций:

- возможность обеспечения ранней профессиональной ориентации школьников по производственным процессам и кадровому обеспечению производства на конкретном предприятии;
- создание условий для формирования контингента абитуриентов для целевого приема в университет, осознанно выбирающих образовательные программы высшего профессионального образования, ориентированных на конкретное предприятие.

Библиографический список

1. **Тишков, К. Н.** Довузовская подготовка в НГТУ / К. Н. Тишков, О. С. Кошелев, Г. Е. Полыннин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Воспитание, образование и карьера». – Нижний Новгород, 1–3 февраля 2000 г.
2. **Иванова, О. Н.** Комплекс тестирования «Профориентатор»: психометрические и прагматические свойства теста / О. И. Иванова, В. В. Одинцова. – М издательство МГУ 2007. – 20 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

G. E. Polynin

FORMING FIRST YEAR STUDENTS CONTINGENT IN THE UNIVERSITY AND SOME WAYS OF PROBLEM SOLUTION.

Nizhny Novgorod state university n. a. R. E. Alexeev

Main problems of forming first year students contingent in technical university in modern conditions of secondary education development in Nizhny Novgorod region and satisfying the requirements of industrial enterprises in specialists of highest qualification were defined. It is underlined that all rising issues can be solved only on the basis of cooperation of all interested parties i.e. secondary, general, extended educational institutions of the region, University, industrial enterprises, research institutions, engineering companies, regulatory bodies of education in Nizhny Novgorod and area. Directions and actions of each organization that takes part in cooperation are defined. Premise of education of secondary school graduates trained to enter the university is vocational aptitude to quality learning of specialized school training plans, profiled educational programs of higher professional education in the University.

Key words: university enrolment, entrance examination, career guidance, subject oriented instruction, specialized curriculum, vocational aptitude of students.

УДК 669. 021: 621.762

Б.В. Устинов¹, Е.Н. Гришин², А.А. Аушев², И.М. Мальцев¹**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНОЙ ФИЗИКОТЕХНИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ ТОКОМ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ НА СТРУКТУРУ
И СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ 8Х6НФТ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
РФЯЦ ВНИИЭФ²

Рассматривается влияние времени воздействия электрофизического фактора скоростного электроимпульсного нагрева током высокой плотности 10^8 - 10^9 А/м² на структуру и свойства стали 80Х6НФТ. Проведены кристаллографические исследования на сканирующем электронном микроскопе методом дифракции обратно-рассеянных электронов (EBSD). Представлены исследования микроструктуры. Применение технологии скоростной электротермической обработки СЭТО для проведения отпуска исследуемых образцов не приводит к значительному снижению значений твердости, не смотря на завышение температуры отпуска, сохраняя тем самым высокую износостойкость материала. Микроструктуры образцов после печной закалки с 950 °С и закалки методом СЭТО (время нагрева 3 с) с охлаждением в масле и последующим отпуске в 200 °С имеют схожее зернограничное и субграничное строение, однако значение твердости образцов при закалке методом СЭТО выше. Несмотря на значительное завышение температуры закалки при СЭТО и высокие скорости нагрева, микроструктура образцов не имеет следов перегрева и пережога и других нежелательных дефектов.

Ключевые слова: скоростная электротермическая обработка, сталь, ток высокой плотности, структура и свойства, малоугловые границы, специальные границы, электрофизические методы обработки металлических материалов.

Введение

Широкое распространение электрофизических методов обработки металлических материалов связано с их положительным воздействием на структуру материалов. При использовании данного метода для проведения отпуска сталей устраняется отпускная хрупкость [1], повышаются конструктивная прочность [2] и вязкость разрушения сталей [3] в сравнении со сталями, прошедшими печную термическую обработку [4]. В настоящей работе изучается возможность проведения электрофизического процесса закалки и отпуска током высокой плотности 10^8 - 10^9 А/м² инструментальной стали 8Х6НФТ. Применение токов высокой плотности при нагреве под термическую обработку позволяет ускорить диффузионные процессы, повысить скорость нагрева и изменить критические точки сталей [5-6]. Особенностью скоростной электротермической обработки (СЭТО), кроме термических процессов, является возникновение электрофизических эффектов, к которым относится эффект “электрокристаллизации” [7-9]. Действие высоких скоростей нагрева и эффекта электрокристаллизации приводит к измельчению зерен, что улучшает комплекс физико-механических свойств. В обработке инструментальной стали важно получить высокое значение твердости в сочетании с высоким значением сопротивления разрушению. Литературные данные, в том числе зарубежные, и [10] показывают, что в электротермической обработке сталей и в научных экспериментах, за исключением [11 -13], не применяются токи высокой плотности, а это позволяет проводить электротермическую обработку за короткое технологическое время, используя значительный перенагрев.

Цель настоящей работы – применение технологии СЭТО, для обработки инструментальной стали марки 8Х6НФТ, основанной на нагреве изделий импульсными токами высокой плотности.

Методика эксперимента

Для проведения исследования СЭТО использовалась инструментальная сталь 8Х6НФТ. Характерная термическая обработка данной стали включает в себя закалку и низкий отпуск. Процесс СЭТО проводили по методике и на установке конструкции НГТУ [5, 14, 15]. Для проведения экспериментов использовали электроконтактный нагрев током высокой плотности 10^8 - 10^9 А/м² в импульсном режиме: длительность импульса 0,02 с, длительность паузы 0,02 с. Частота импульсов 25 Гц, что делает скин-эффект пренебрежимо малым. Электрический ток пропускали по длине образцов. Форма импульса тока синусоидальная, исключая эффект Томпсона-Пельтье. Температуру СЭТО рассчитывали по закону Джоуля - Ленца.

Проводили электрозакалку и электроотпуск. Перед электроотпуском образцы закаливали в печи. Изучали влияние технологических параметров СЭТО на твердость и удельное электросопротивление сталей. Использовали различное время (температуру) СЭТО, как при электрозакалке, так и при электроотпуске. Изотермическая выдержка образцов не проводилась. При СЭТО с закалкой применяли различные среды охлаждения: воду, масло и воздух. Для сравнения свойств после СЭТО проводили печную закалку по рекомендуемым научно-технической литературой режимам. Энергетические параметры, геометрические размеры образцов, длиной 0,1 м представлены в табл. 1, а исходные свойства стали и свойства после печной термической обработки показаны в табл. 2.

Таблица 1

Энергетические параметры СЭТО стали 8Х6НФТ

Марка	Сечение, мм	Плотность тока, А/м ²	Температура при нагреве за 1 с, °С	Мощность на образце за 1 с, Вт
8Х6НФТ	8 x 2	$1,403 \cdot 10^8$	378	9443

Таблица 2

Твердость (HRC), удельное электрическое сопротивление (R, Ом мм²/м) и относительная ошибка эксперимента (E, %) стали 8Х6НФТ в исходном состоянии и после печной обработки (закалки в печи и охлаждения в масле, отпуск в печи 200 °С два часа)

Марка стали	Исходные		Печная термическая обработка				
	HRC	R	Температура закалки, °С	HRC	R	После отпуска HRC	После отпуска R
8Х6НФТ	22,0(3,57)	5,47(1,99)	950	54,77(1,47)	9,92(2,57)	43,0(12,41)	10,61(1,47)

Для оценки стабильности свойств (разброса значений твердости и удельного электрического сопротивления) проводили вычисления относительной ошибки эксперимента (E, %). Использовали формулу $E = (T / X) 100\%$, где X - среднее арифметическое значение параметра, T – погрешность серии измерений, вычисляемая по формуле $T = (M_{\max} - M_{\min})/2$, M_{\max} - верхний доверительный предел, а M_{\min} – нижний доверительный предел.

На полученных образцах проводили кристаллографические, физические и металлографические исследования.

Кристаллографические исследования проводили на сканирующем электронном микроскопе методом дифракции обратнорассеянных электронов (EBSD). Для этого из образцов были вырезаны заготовки и приготовлены микрошлифы поперечного сечения. Для полного снятия деформированного поверхностного слоя образцы были дополнительно отполированы химико-механическим способом на шлифовальной установке «MINIMET 1000» в водном

растворе кремнезема. В процессе исследования были получены карты кристаллографической ориентации образцов после СЭТО и печного нагрева при разных времени (температуре) нагрева и охлаждении в разных средах. Полученные карты кристаллографической ориентации образцов обрабатывались с помощью аналитического пакета «HKL CHANNEL 5».

Результаты эксперимента

Полученные значения твердости и удельного электрического сопротивления стали 8Х6НФТ после СЭТО показаны на рис. 1 и 2. На рис. 1 видно, что с увеличением времени СЭТО значения твердости обрабатываемой стали возрастают. Дальнейшее повышение времени нагрева не вызывает повышения твердости, а ее значения находятся в пределах погрешности эксперимента.

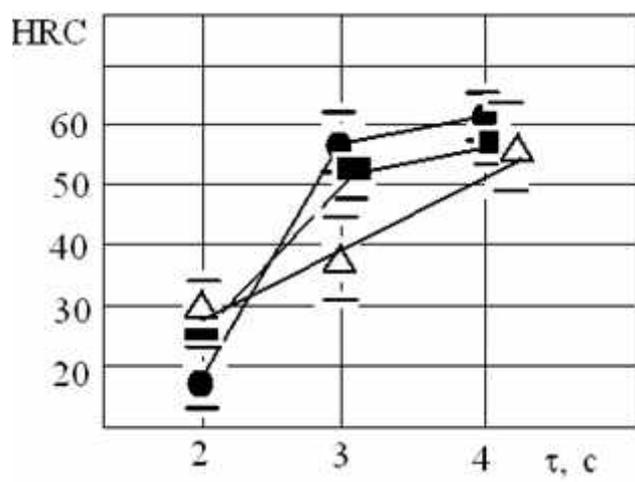


Рис. 1. Твердость HRC стали 8Х6НФТ после СЭТО при разном времени нагрева, среды охлаждения:

● - вода; ■ - масло; △ - воздух

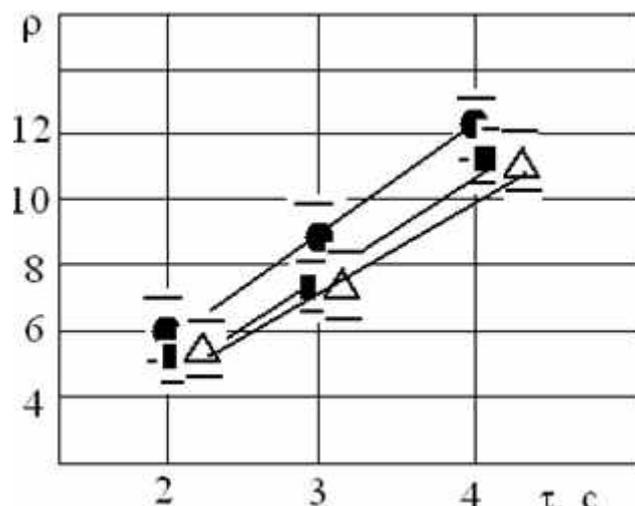


Рис. 2. Удельное электрическое сопротивление ρ (Ом мм²/м) стали 8Х6НФТ после СЭТО при разном времени нагрева, среды охлаждения:

● - вода; ■ - масло; △ - воздух

При охлаждении стали после СЭТО в воде или масле относительная ошибка эксперимента (стабильность свойств) увеличивается. Для образцов, охлаждение которых происходило на воздухе, при максимальном нагреве СЭТО произошла закалка. Здесь значение твердости составляет 57 HRC. При нагреве стали СЭТО ниже A_{c1} наблюдается значительный раз-

брос свойств. При максимальном разогреве стали СЭТО, увеличение скорости охлаждения повышает стабильность твердости.

Сравнение результата измерения твердости после печной закалки в масло табл. 2 и после СЭТО в масло показывает, что величины твердости приблизительно одинаковы и их значения лежат в пределах погрешности эксперимента. При СЭТО наблюдается несколько большая стабильность значений твердости, чем при печном нагреве. При охлаждении на воздухе стабильность твердости после СЭТО минимальная, что объясняется процессом диффузии углерода. В большинстве случаев для исследуемых режимов СЭТО повышение скорости охлаждения увеличивает стабильность твердости, или снижает значение относительной ошибки эксперимента. Это проявляется в тех случаях нагрева, когда время (или температура) СЭТО превышает A_{c1} .

На рис. 2 видно, что увеличение времени обработки СЭТО повышает значение удельного электрического сопротивления исследуемой стали. Рост удельного электрического сопротивления объясняется сокращением карбидной фазы [5]. Такие процессы наблюдаются и при печной обработке в условиях высоких скоростей нагрева под закалку. Увеличение значений удельного электрического сопротивления с ростом времени СЭТО соответствуют изменению твердости. Изменение скорости охлаждения при СЭТО не изменяет поведение относительной ошибки эксперимента (стабильности) значений удельного электрического сопротивления.

Большой интерес представляет СЭТО в режиме отпуска. Для отпуска током высокой плотности использовали образцы исследуемой стали, прошедшие печную закалку в масло табл. 2. При отпуске СЭТО охлаждение проводили на воздухе. Результаты эксперимента представлены табл. 3. Результаты табл. 3 показывают, что при увеличении времени СЭТО отпуска значения твердости изменяются немонотонным образом. Время нагрева СЭТО 1 с соответствует температуре низкого отпуска (табл. 1). Увеличение времени нагрева до 3 с соответствует нагреву до 900 °С, при этом наблюдается закалка на воздухе. Стабильность значений твердости после СЭТО отпуском такая же, как и при печном отпуске. В табл. 4 показано изменение удельного электрического сопротивления при СЭТО отпуском, выполненном на образцах табл. 2 после печной закалки.

Таблица 3

Твердость HRC и относительная ошибка эксперимента E, % стали 8X6HФТ после печной закалки и последующего отпуска методом СЭТО при разном времени нагрева

Марка Стали	Время СЭТО, с		
	1	2	3
8X6HФТ	46,0(1,51)	35,50(5,43)	52,33(3,55)

Таблица 4

Удельное электрическое сопротивление (Ом мм²/м) и относительная ошибка эксперимента E, % стали 8X6HФТ после печной закалки и после СЭТО отпуском при разном времени нагрева

Марка Стали	Время СЭТО, с		
	1	2	3
8X6HФТ	7,82(2,23)	7,53(8,96)	9,4(2,27)

Данные табл. 4 показывают, что увеличение времени нагрева при СЭТО отпуском повышает значения удельного электрического сопротивления.

На рис. 3 приведены карты кристаллографической ориентации образцов после печного нагрева в 950 °С с охлаждением в масле и последующим отпуском. Высокоугловые границы зерен с углами разориентировок выше 10° на картах отображены толстыми линиями на

рис 3. [11]. Карты ориентации получены при следующем режиме съемки: напряжение на аноде 20 кВ; размер карт 180x180 пикселей.

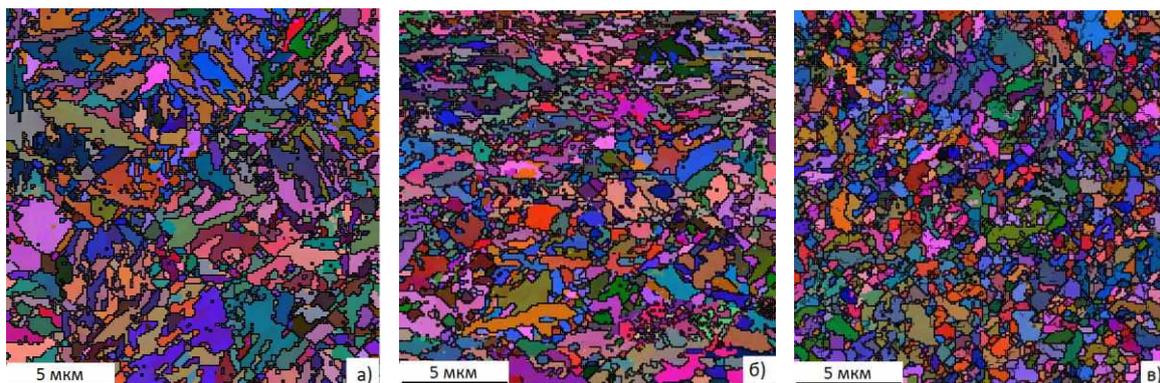


Рис. 3 Изображения карт ориентации образцов после печного нагрева в 950 °С с охлаждением в масле и разными режимами отпуска:
а – печной отпуск 200 °С 2 ч; *б* – СЭТО, время нагрева 1 с; *в* – СЭТО, время нагрева 2 с

На рис. 3, *а* показана структура стали после низкотемпературного печного отпуска в 200 °С, которая представляет собой отпущенный мартенсит. При этом происходит снижение внутренних напряжений при сохранении высокой твердости (табл. 2). Структура стали после отпуска СЭТО при времени нагрева 1 с состоит из троостомартенсита (рис.3, *б*). Нагрев образца при СЭТО в 1 с соответствует температуре среднего отпуска, однако, как видно из табл.3 снижения твердости по сравнению с низкотемпературным печным отпуском не происходит. Температура образца, при времени нагрева СЭТО 2 с, соответствует температуре высокого отпуска. На рис. 3, *в* показана структура стали после высокотемпературного отпуска СЭТО состоящая из сорбита отпуска [18]. При исследовании влияния отпуска методом СЭТО нужно читать, что увеличение скорости нагрева при отпуске смещает температуру превращений, происходящих со структурой мартенсита, вверх по температурной шкале. Необходимо отметить, что в отличие от печного отпуска отпуск методом СЭТО осуществляется за очень короткое время (секунды).

Таблица 5

Доля малоугловых и специальных границ в структуре образцов в зависимости от вида ТО, %

Вид отпуска после, печной закалки с 950 С в масло	МУГ, %	Σn , %
Печной отпуск в 200 °С выдержка 2 ч	25,8	22,7
Отпуск СЭТО, время нагрева 1 с	23,4	26,1
Отпуск СЭТО, время нагрева 2 с	20	18,8

Обозначения: Σn – фракция специальных границ; МУГ – фракция малоугловых границ

Был проведен анализ зернограницной и субграницной структуры образцов после печного отпуска и отпуска по технологии СЭТО. В табл. 5 приведены данные по доле малоугловых и специальных границ в микроструктуре образцов после ТО, рассчитанные по данным анализа карт кристаллографической ориентации.

Из табл. 5 видно, что с увеличением температур отпуска происходят незначительные изменения субграницной и зернограницной структуры стали. Субграницная и зернограницная структура стали образовавшиеся при печном отпуске близка структуре после отпуска ме-

тодом СЭТО, хотя температура отпуска методом СЭТО значительно выше. Большую часть специальных границ представляют фракции у которых число узлов решетки металла, приходящихся на один совпадающий узел в общей сверхрешетке, равно 3 ($\Sigma 3$). Необходимо отметить, что представленные данные по доле малоугловых границ несколько занижены, поскольку при построении карт разориентировок не учитывали малоугловые границы рек с разориентировкой менее 2° . Однако такой метод анализа структурных изменений имеет высокую достоверность, которая определяется большим массивом экспериментальных точек.

Несмотря на то, что характерной термообработкой для инструментальных сталей является закалка и низкий отпуск, проведенные исследования показали, что отпуск методом СЭТО даже с завышением температуры благоприятно влияет на свойства и структуру стали.

Исходя из того, что термическая обработка характерная для инструментальных сталей состоит из закалки и низкого отпуска. Теоретический и практический интерес представляет экспериментальное исследование влияния печного низкого отпуска на свойства закаленной СЭТО исследуемой стали. Образцы, имеющие свойства рис. 1 и 2, подвергли печному отпуску при 200°C длительностью два часа. Свойства (твердость и удельное электрическое сопротивление) образцов закаленных СЭТО и подвергнутых последующему печному отпуску представлены на рис. 4 и 5.

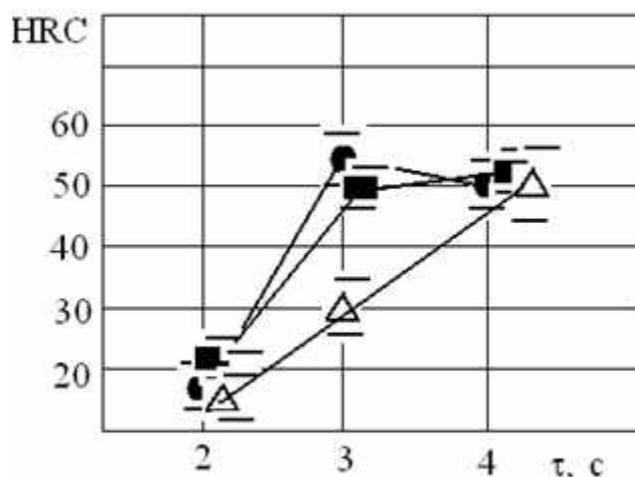


Рис. 4. Твердость HRC стали 8Х6НФТ после СЭТО при разном времени нагрева и разной среды охлаждения и печного отпуска при 200°C за два часа,

среды охлаждения: ● - вода; ■ - масло; △ - воздух

На рис. 4 видно, что низкий печной отпуск после СЭТО в режиме закалки приводил к снижению твердости, в сравнении с данными рис.1. Относительная ошибка эксперимента при этом возрастает незначительно. Отметим, что при СЭТО в режиме отпуска такого явления не наблюдается. В целом стабильность твердости такая же, как и в случае печных операций (табл. 2), несмотря на повышение температуры отпуска. Данные рис. 5. показывают, что последующий печной отпуск после СЭТО закалкой не снижает значение удельного электрического сопротивления.

На рис. 6, 7 и 8 приведены карты кристаллографической ориентации образцов после СЭТО с охлаждением в разных средах и последующем отпуске в 200°C . Высокоугловые границы зерен с углами разориентировок выше 10° на картах отображены толстыми линиями. Карты ориентации получены при следующем режиме съемки: напряжение на аноде 20 кВ; размер карт 180x180 пикселей.

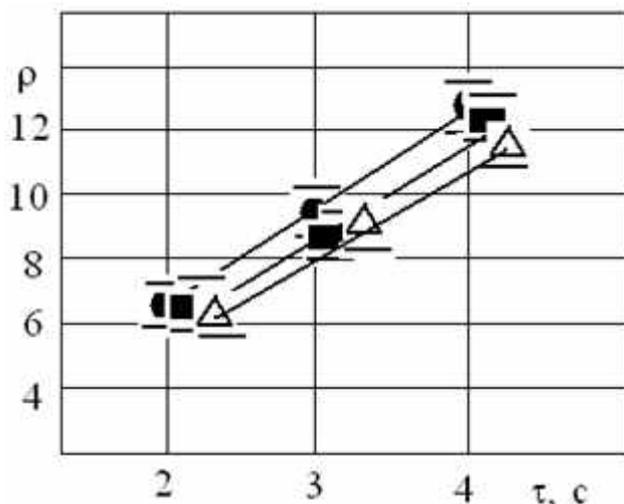


Рис. 5. Удельное электрическое сопротивление ρ (Ом мм²/м) стали 8Х6НФТ после СЭТО при разном времени нагрева и разной среды охлаждения и печного отпуска при 200 °С за два часа, среды охлаждения: ● - вода; ■ - масло; △ - воздух

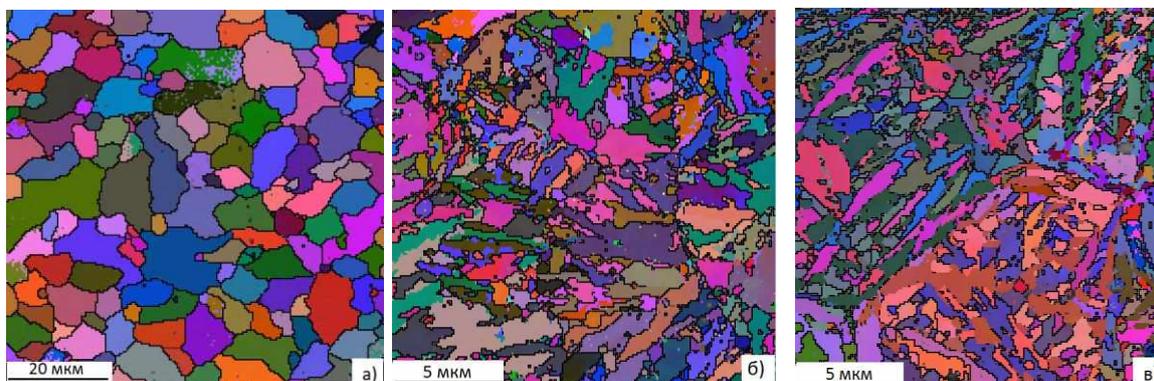


Рис. 6. Изображения карт ориентации образцов после СЭТО с охлаждением на воздухе и последующим отпуске 200 °С: а – время нагрева 2 с; б – время нагрева 3 с; в – время нагрева 4 с

Таблица 6

Доля малоугловых и специальных границ в структуре образцов в зависимости от вида ТО, %

Вид термообработки, СЭТО с охлаждением на воздухе и последующем печном отпуске в 200 °С	МУГ, %	Σn, %
Время нагрева 2 сек	2,4	11,7
Время нагрева 3 сек	25	21,1
Время нагрева 4 сек	21	24,4

На рис. 6 видно, что структура образца после СЭТО с временем нагрева 2 с состоит из почти равноосных зерен феррито-цементитной смеси. При времени нагрева от 3 с и охлаждением на воздухе в структуре стали происходит образование мартенситной фазы. Которая при последующем отпуске в 200 °С представляет собой структуру отпущенного мартенсита. Анализ структуры показал что, с увеличение времени нагрева (температуры) происходят значительные изменения зернограницной и субграницной структуры (табл. 6).

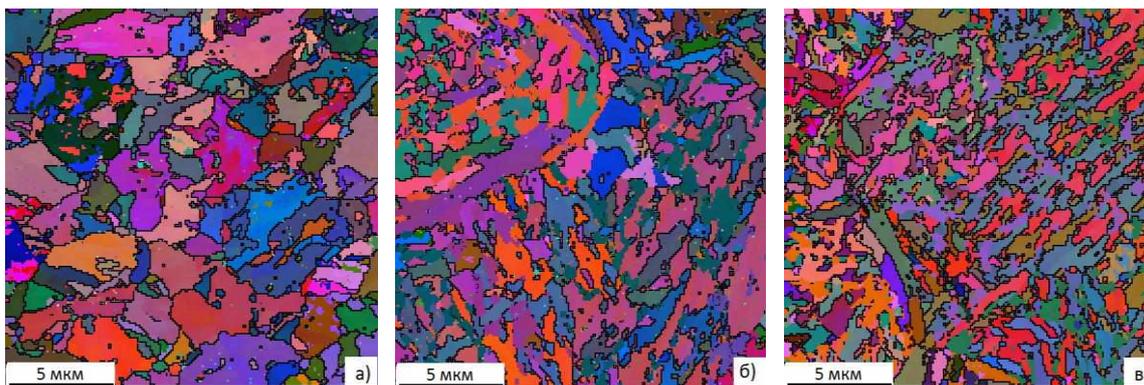


Рис. 7. Изображения карт ориентации образцов после СЭТО с охлаждением в масле и последующим отпуске 200 °С:

a – время нагрева 2 с; *б* – время нагрева 3 с; *в* – время нагрева 4 с

На рис. 7 показана микроструктура образцов после закалки методом СЭТО с временем нагрева от 2 с и последующего низкого отпуска, представляющая собой отпущенный мартенсит. В табл. 7 представлены данные по параметрам зернограницной и субграницной структуры, а именно доля малоугловых и специальных границ.

Таблица 7

Доля малоугловых и специальных границ в структуре образцов в зависимости от вида ТО, %

Вид термообработки, СЭТО с охлаждением в масле и последующем печном отпуске в 200 °С	МУГ, %	Σn , %
Время нагрева 2 сек	41,6	11,2
Время нагрева 3 сек	29	22,9
Время нагрева 4 сек	25	28,2

На рис. 8 показана микроструктура образцов после закалки методом СЭТО с охлаждением в воде и последующего низкого отпуска. В табл. 8 представлены данные по доле малоугловых и специальных границ.

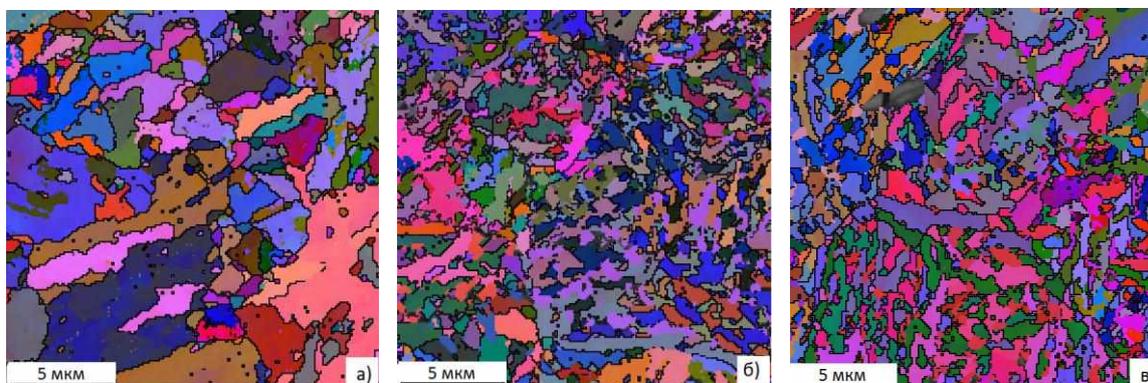


Рис. 8 Изображения карт ориентации образцов после СЭТО с охлаждением в воде и последующим отпуске 200 °С:

a – время нагрева 2 с; *б* – время нагрева 3 с; *в* – время нагрева 4 с

Микроструктура образцов из стали 8Х6НФТ, подвергнутых термообработки в виде закалки методом СЭТО с временем нагрева равным 2 с и охлаждением в воде и масле, представляет собой феррито-цементную смесь. Образовавшаяся структура характеризуется большим значением малоугловых границ и малым значением специальных границ. При времени нагрева от трех секунд структура данных образцов представляет собой мартенсит. Последующее проведение низкого отпуска переводит мартенсит закалки в отпущенный мартенсит. При этом снижаются закалочные макронапряжения, повышается прочность и немного улучшается вязкость, без заметного снижения твердости [18]. Структура образцов после закалки методом СЭТО с временем нагрева от 3 с характеризуется уменьшением доли малоугловых границ и ростом доли специальных границ, чем структура после СЭТО с временем нагрева 2 с.

Таблица 8

Доля малоугловых и специальных границ в структуре образцов в зависимости от вида ТО, %

Вид термообработки, СЭТО с охлаждением в воде и последующем печном отпуске в 200 °С	МУГ, %	Σп, %
Время нагрева 2 сек	45,4	9
Время нагрева 3 сек	21,8	24,7
Время нагрева 4 сек	24,1	23,7

Металлографические исследования проводили на образцах после СЭТО и печного нагрева закаленных в масле. Следов перегрева и пережога, проплавлений и трещин, вызванных высокой скоростью нагрева СЭТО, на изученных металлографическим способом образцах не обнаружено.

Выводы

1. Применение технологии СЭТО для проведения отпуска исследуемых образцов не приводит к значительному снижению значений твердости, не смотря на завышение температуры отпуска, сохраняя тем самым высокую износостойкость материала.

2. Микроструктуры образцов после печной закалки с 950 °С и закалки СЭТО (время нагрева 3 с) с охлаждением в масле и последующим отпуске в 200 °С имеют схожее зернограничное и субграничное строение, однако значение твердости образцов при закалке СЭТО выше.

3. Несмотря на значительное завышение температуры закалки при СЭТО и высокие скорости нагрева, микроструктура образцов не имеет следов перегрева и пережога и других нежелательных дефектов.

4. Проведенные исследования по определению влияния режимов СЭТО на структуру и свойства стали 8Х6НФТ позволяют выбрать оптимальный режим термообработки и получить материал с заданными характеристиками.

5. Применение СЭТО позволяет проводить операции объемного упрочнения стали за короткое технологическое время (за секунды).

Библиографический список

1. Мешков, Ю. Я. О причинах подавления отпускной хрупкости в сталях при скоростном электроотпуске / Ю. Я. Мешков, И. С. Стаценко, В. Д. Безбах // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1994. №2. С. 15–17.
2. Гриднев, В. Н. Применение скоростной термической обработки для повышения конструктивной прочности сталей / В. Н. Гриднев, С. П. Ошкадеров // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1987. № 11. С. 19–23.

3. **Рыш, П.** Влияние скоростной аустенизации на вязкость разрушения конструкционных сталей / П. Рыш, Ф. Габровец, И. Шкарек // *Металлофизика*. 1986. Т.8. № 6. С. 55–61.
4. **Шкляр, В. С.** О влияние электрического поля на металл / В. С. Шкляр, С. В. Терехов // *Металлы*. 1997. № 2. С. 148–151.
5. **Гофман, Ю. И.** Образование неустойчивых Френкелевских пар при облучении электронами / Ю. И. Гофман, А. И. Кидин, О. Г. Оленик // *Металлы*. 1995. № 6. С. 153–157.
6. **Гордеев, В. Ф.** О рекристаллизации металлов под действием электрического тока / В. Ф. Гордеев, Г. М. Кудинов, А. В. Пустагаров // *Металлы*. 1990. № 3. С. 120–122.
7. **Мальцев, И. М.** Скоростная электротермическая обработка током высокой плотности доэвтектоидных конструкционных сталей // *Вопросы материаловедения*, 2004. № 4 (40). С. 24–31.
8. **Мальцев, И. М.** Изменение стабильности и свойств алюминиевых сплавов после скоростной электротермической обработки током высокой плотности // *Материаловедение*. 2004. №9. С. 34–36.
9. **Мальцев, И. М.** Скоростная обработка стали 30ХГСА током высокой плотности // *Материаловедение и термическая обработка металлов* 2009. № 6. С. 42–45.
10. **Мальцев, И. М.** Исследование скоростной электротермической обработки металлов током высокой плотности // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2005. № 11. Т. 71. С. 35–38.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

B.V. Ustinov, E.N. Grishin, A.A. Aushev, I.M. Mal'tsev

RESEARCH OF INFLUENCE PHYSICAL-TREATMENT OF SPEED ELECTROTHERMAL PROCESSING BY CURRENT OF HIGH DENSITY ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF 8H6NFT TOOLS STEEL

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Time effect of electrophysical factor of high-speed electric impulse heating by high-density current of 10^8 - 10^9 A/m² on 80X6HFT steel structure and properties is studied. Crystallographic examination with an electronic scanning microscope according to the back-scattered electrons diffraction (EBSD) method was effected. Microstructural examination results are presented. Application of high-speed electrothermic treatment technology for the studied samples tempering leads to a sufficient decrease of hardness values, despite the uprated tempering temperature, at this maintaining high wearability of the material. The microstructures of the samples after furnace tempering at 950 °C and high-speed electrothermic treatment (3 seconds heating), then being oil-cooled and successively drawn back at 200 °C have related grain boundary and subboundary characters, samples tempered by the high-speed electrothermic treatment method still having higher hardness values. Despite sufficient uprate of the tempering temperatures at the high-speed electrothermic treatment and also high heating speeds, the samples microstructure has no trace of overheating and overburning, and other unacceptable defects.

Key words: high-speed electrothermic treatment, steel, high-density current, structure and properties, low-angle boundaries, special boundaries, electrophysical methods of metallic materials treatment.

УДК 621.9.08

А.А. Прыгин¹, Е.В. Зимина², В.Н. Кайнова²**АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С БАЗИРОВАНИЕМ
НА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНУЮ МАШИНУ**ЗАО «Магна Технопласт»¹,Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Изложена методика анализа точностных характеристик измерительных систем с помощью статистических методов. Выполнено ряд экспериментов для измерительных систем с координатно-измерительной машиной ZEISS PRO Compact. Работа имеет универсальный характер и методика может быть применима для других измерительных систем.

Ключевые слова: системы менеджмента качества, измерительная система, координатно - измерительная машина, стабильность, смещение, линейность смещения, эксперимент, пригодность, измерительный процесс.

Управление деятельностью предприятия, повышение качества и конкурентоспособности продукции стало важной и актуальной проблемой современной рыночной экономики. Автомобилестроительные предприятия работают с большим количеством поставщиков, которые должны обеспечивать высокое качество комплектующих. Ведущие производители автомобильной техники применяют международный стандарт ISO/TS 16949:2002, которому существует российский аналог ГОСТ Р ИСО/ТУ 16949-2009 «Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Особые требования по применению ГОСТ Р ИСО 9001 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части».

Один из принципов, лежащих в основе стандартов ISO серии 9000 – **принятие решений, основанных на фактах**. Таким образом, чтобы принимать решения, сначала необходимо собрать факты (достоверную информацию). Процессы мониторинга, измерения и анализа нужны как раз для этих целей. Но полученная из этих процессов информация не всегда достоверна в силу различных причин, а применение недостоверной информации приводит к неправильным решениям. Следовательно, нормальное функционирование системы менеджмента качества (СМК), в рамках ISO/TS 16949, невозможно без подтверждения достоверности получаемых данных. Современные процессы измерения базируются на сложной измерительной технике, к которой не применим традиционный подход по оценке ее пригодности. Исследования, проведенные на некоторых российских предприятиях, показывают неприемлемость большинства применяемых измерительных систем (процессов) [2].

Приобретение и внедрение измерительной техники должно сопровождаться исследованиями конкретных измерительных процессов, чтобы не тратить ресурсы на ненужные или неэффективные процессы, в том числе измерительные. Ведущие автомобильные компании для подтверждения пригодности данных, полученных в результате измерений, должны использовать метод анализа измерительных систем (MSA). MSA представляет собой набор экспериментов и статистических методов, адаптированных для получения оценок приемлемости результатов измерений [1].

MSA (аббревиатура от Measurement System Analysis) — это метод, призванный дать заключение относительно приемлемости используемой измерительной системы (ИС) через количественное выражение ее характеристик. Под измерительными системами понимаются совокупность приборов, стандартов, операций, методов, персонала, компьютерных программ,

окружающей среды, используемых для придания количественных значений измеряемым величинам.

В данной статье будет рассматриваться измерительная система с координатно-измерительной машиной (КИМ) ZEISS PRO Compact. Данная КИМ имеет одностоечное конструктивное исполнение с консолью и пневматической системой, диапазон измерений: $Y=1600$ мм, $Z=2100$ мм, $X=8000$ мм, разрешающая способность – $0,0001$ мм; программное обеспечение: CMM-OS; графическая обработка: Holos-NT. Движение КИМ осуществляется в трёх плоскостях с помощью специальных платформ на сверхточных электронных датчиках. Все элементы данной машины выполнены с высочайшей степенью точности.

ЗАО «Магна Технопласт» производит такую продукцию как бампера, решетки и рамки радиатора, приборные панели, дверные панели, накладки порога и др. Производство сертифицировано по ISO/TS 16949 «Системы менеджмента качества. Частные требования по применению ISO 9001:2008 для производства автомобилей и комплектующих». Заказчиками ЗАО «Магна Технопласт» являются: Volkswagen, Skoda, Renault, Nissan, Peugeot, Citroen, ГАЗ, Mitsubishi. В рамках производства осуществляются процессы прессовки, сборки, литья пластмасс, измерения и окраски.

На предприятии функционирует измерительная лаборатория, аккредитованная ФГУ «Нижегородским центром стандартизации, метрологии и сертификации». Для выполнения процесса измерения и контроля детали на КИМ используются специальные контрольные приспособления. Детали фиксируются на них так, как они будут впоследствии установлены на автомобиль. На контрольном приспособлении расположены базирующие отверстия, по координатам центра которых производится расчёт местоположения приспособления и детали относительно системы координат самой КИМ. Деталь закрепляется на контрольное приспособление с помощью различных фиксаторов и клипс.

Важно заметить, что контрольные приспособления также являются предметом измерения. Перед их использованием и в процессе эксплуатации все приспособления измеряются для подтверждения соответствия математической модели.

Анализ измерительных систем начинается с понимания цели и процесса измерения. Все источники хаотичных и недопустимых ошибок должны быть устранены. Исследование измерений следует концепциям Деминга:

- **определите** значительные источники ошибок и устраните их,
- **позвольте** одному или нескольким факторам изменяться;
- **измеряйте** несколько раз;
- **анализируйте** результаты действий.

Измерительная система может быть подвержена влиянию различных источников изменчивости, поэтому при повторных измерениях одной и той же части полученные результаты будут отличаться друг от друга, что обусловлено обычными и особыми причинами изменчивости. Влияние различных источников изменчивости на измерительную систему должно быть оценено за короткий и длительный промежутки времени.

Возможность измерительной системы — это ошибка измерительной системы за короткий промежуток времени. Это комбинация ошибок, вызванных линейностью, сходимостью и воспроизводимостью.

Пригодность измерительной системы, как и пригодность процесса, — это влияние всех источников изменчивости за длительный период времени.

Измерительная система пригодна, если: процесс измерений находится в статистически управляемом состоянии (т. е. он стабилен и неизменен или присутствуют только обычные причины изменчивости), настроен на цель (нет смещения) и изменчивость процесса (сходимость и воспроизводимость) приемлема и находится в ожидаемых пределах.

Одна из целей изучения измерительной системы – получить информацию о величине и типах изменчивости в измерениях, вызванных измерительной системой при ее взаимодействии со средой. Эта информация имеет большую ценность, поскольку для производствен-

ного процесса часто намного практичнее учесть сходимость и смещение при калибровке и установить для них разумные пределы, чем использовать точные приборы с очень высокой сходимостью.

Выполнено три эксперимента по оценке стабильности показаний, смещению центра настройки и линейности ИС.

Для анализа стабильности ИС используются контрольные карты. Проводится несколько циклов экспериментов. Каждый цикл эксперимента заключается в измерении параметра одного отобранного образца одним оператором определенное количество раз. По полученным данным строится $\bar{X}-R$ – карта среднеквадратичных значений и размахов.

В качестве образца было взято контрольное приспособление для рамки радиатора ГАЗель Next. Измеряемый параметр – диаметр базирующего отверстия $\varnothing 8H6^{(+0,009)}$. Измерения проводились на КИМ в ручном режиме. Необходимое количество измерений ($n=5$) в одном цикле измерений. Расчеты по построению контрольной карты выполнены по рекомендациям [5]. Обработка данных производилась в программе Excel.

Построены:

Карта средних арифметических значений (рис. 1) по следующим расчетным значениям:

- среднее результатов всех измерений – $\bar{X}_{cp}=8,0437$ мм;
- верхняя контрольная граница – $UCL=8,0598$ мм;
- нижняя контрольная граница – $LCL=8,0275$ мм.

Карта размахов (рис. 2):

- средний размах – $R_{cp}=0,02786$;
- верхняя контрольная граница – $UCL=0,0587$;
- нижняя контрольная граница – $LCL=0$

Константы для расчета контрольных границ приняты при $n=5$ [5].

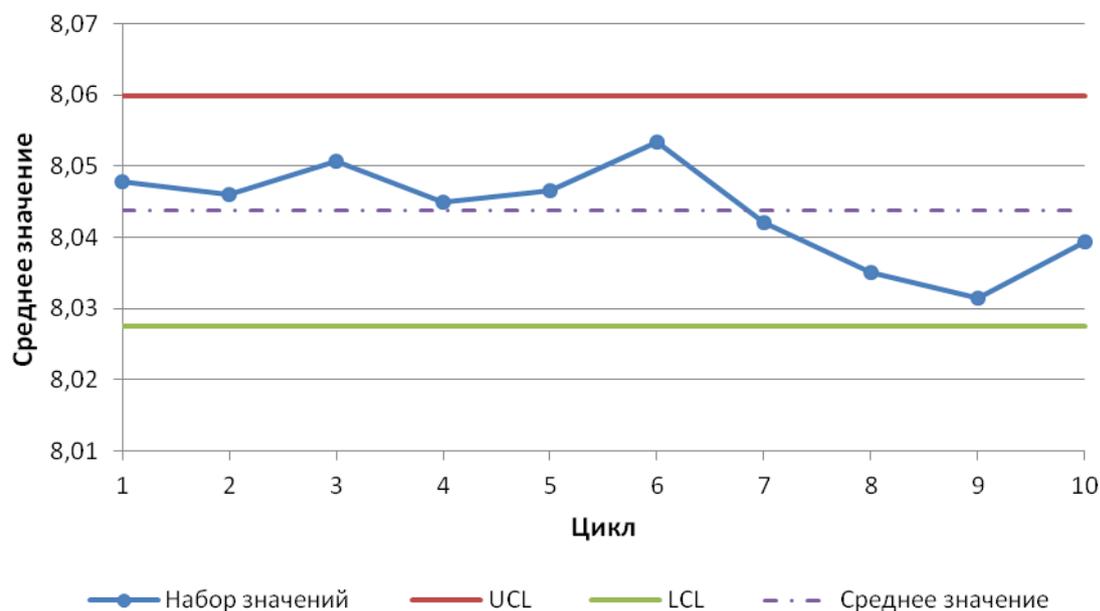


Рис. 1. Карта средних значений

Процесс считается нестабильным, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- одна или несколько точек находятся за пределами контрольных границ;
- присутствуют серии точек – семь точек подряд находятся по одну сторону от среднего значения или семь точек подряд возрастают или убывают;
- процесс проявляет другие признаки неслучайного поведения (например, большинство точек группируется около линии среднего, либо около линии контрольных границ).

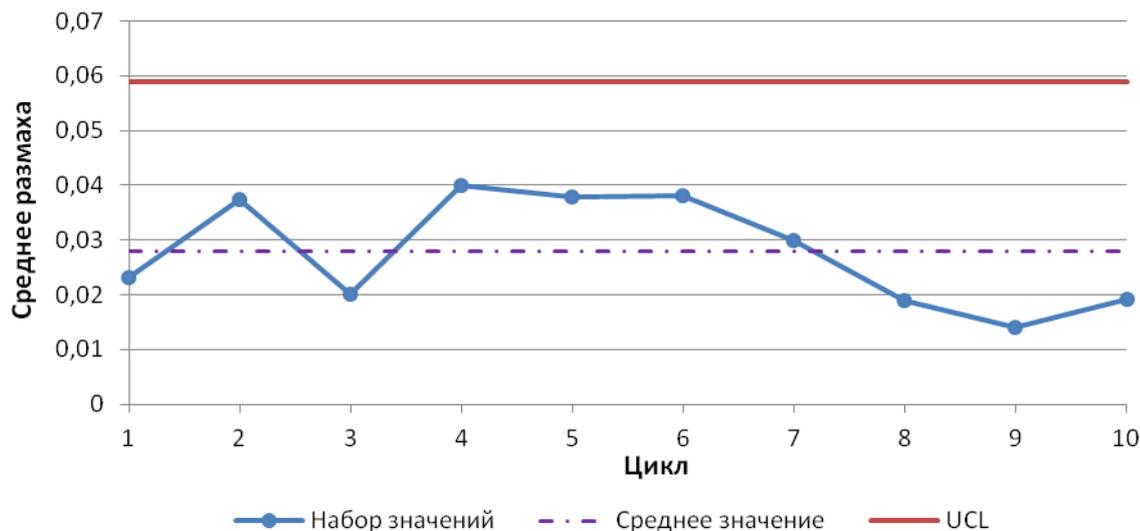


Рис. 2. Карта размахов

Анализ карты средних и размахов показывает, что ни одно из перечисленных условий не нарушается. Исходя из этого, можно сделать вывод, что система стабильна и можно проводить дальнейшие исследования измерительного процесса.

В случае нестабильности процесса специалист должен выявить источники нарушения стабильности, устранить их и повторить эксперимент.

Во втором эксперименте производилась оценка смещения. Смещение ИС (процесса) оценивается как отклонение среднего результатов измерений от опорного значения измеряемого параметра. Таким образом, для получения оценки смещения необходимо знание опорного значения, при этом необходимо, чтобы анализируемая ИС была стабильна.

Опорное значение - это величина предмета или группы, служащая для сравнения в качестве одобренного образца. В качестве опорного значения может быть выбрано среднее значение нескольких измерений выполненных оборудованием высокого уровня (например, в метрологической лаборатории), законченное значение и др. варианты.

В качестве исследуемого образца был взят блок контрольного приспособления. Исследуемый параметр – диаметр отверстия под специальный индикатор КИМ, равный $\varnothing 12\text{H}6^{(+0,011)}$. Измерения проводились с помощью КИМ в ручном режиме.

Для определения опорного значения было выполнено последовательно 20-ть измерений диаметра отверстия. Результаты записаны в контрольный листок.

Опорное значение исследуемого параметра – $X_{\text{опор}} = 12,0495$ мм, получено как среднее арифметическое всех результатов.

Далее последовательно было выполнено 10 измерений исследуемого параметра образца в автоматическом режиме. Полученные значения были округлены и сгруппированы, рассчитано среднее арифметическое значение всех измерений, которое равно - $\bar{X} = 12,0492$ мм. Определено абсолютное значение смещения по формуле:

$$B = \bar{X} - X_{\text{опор}} = 0,0003 \text{ мм} = 0,3 \text{ мкм.}$$

Относительное значение смещения определяется в процентном отношении от допуска:

$$\%B = 100 B / T = 100 \cdot 0,3 / 11 = 2,7 \text{ \%}.$$

Смещение системы приемлемо, так как не превышает 10 % [1]. Смещение не является критерием приемлемости ИС, его следует учитывать при проведении дальнейших измерений при помощи исследуемого измерительного процесса.

Третий эксперимент – определение линейности измерительной системы.

Под линейностью смещения ИС понимается линейное изменение смещения в пределах рабочего диапазона измерительного процесса. Линейность смещения оценивается величиной наклона прямой, которая наилучшим образом аппроксимирует зависимость средних значений смещения для различных образцов от их предполагаемых истинных (опорных) значений.

Для этого оценивается смещение в нескольких точках в пределах рабочего диапазона и изучается зависимость изменения смещения от опорного (предполагаемого истинного) значения образца.

Выполнить данное условие не представляется возможным из-за большой величины рабочего диапазона измерительного прибора (КИМ передвигается в трёх плоскостях, в пределах лаборатории). Так как на предприятии нет деталей такого масштаба, было принято решение взять параметры, максимально разбросанные по рабочему диапазону КИМ.

Для проверки линейности в качестве измеряемых частей были взяты шаблоны, закрепленные на контрольном приспособлении. Контролируемый параметр – расстояние от одной точки шаблона до другой точки следующего шаблона. Измерения проводились с помощью КИМ в **автоматическом режиме** с предварительным базированием.

Этапы проведения эксперимента и обработки данных

- Было выбрано 5 частей шаблонов с максимально возможной разницей в размерах (40,0; 497,0; 800,0; 1000,0 и 1970,0).
- Каждая часть была измерена 20 раз для получения опорных значений, аналогично предыдущему эксперименту;
- Опорные значения каждой части шаблона составили: 40,0849 мм; 497,3764 мм; 799,9645 мм; 999,9866 мм; 1969,7516 мм.
- Произведен расчет среднего значения для каждого образца.
- Осуществлен расчет абсолютного значения смещения каждого образца и среднее смещений для каждой части.
- Выполнен расчет коэффициента корреляции между опорными значениями соответствующими смещениями. $R^2 = 0,87$.
- Рассчитан угол наклона линии регрессии, которая наносится на график.
- Рассчитан доверительный интервал по методике руководства [1].
- Построен график индивидуальных и средних смещений в отношении опорных значений (рис. 3).

На графике присутствует прямая (линия наилучшего приближения), которая показывает зависимость смещения от опорного значения и границы доверительного интервала для неё.

При аналитическом методе оценка степени связи (качества приближения) производится по коэффициенту корреляции R^2 .

При значениях (0,75; 0,9) – линейная связь между величинами средняя (изменение смещения в пределах рабочего диапазона можно считать линейным), а при (0,9; 1,0) – линейная связь между величинами сильная (изменение смещения в пределах рабочего диапазона линейно).

В данном процессе $R^2 = 0,87$, т.е. изменение смещения в пределах рабочего диапазона можно считать линейным.

Из графика (рис. 3) видно, что линия нулевого смещения (значение 0,0 по оси смещений) полностью лежит в доверительном интервале линии тренда. Это говорит о том, что линейность данной ИС приемлема, однако, могут быть проблемы линейности в других плоско-

стях. Поэтому необходимо для данной ИС исследование зависимости величины линейности смещения от значения параметра в трех плоскостях.

Выполненные эксперименты позволяют сделать вывод о пригодности исследуемой измерительной системы для измерения и оценки качества деталей ЗАО «Магна Технопласт».

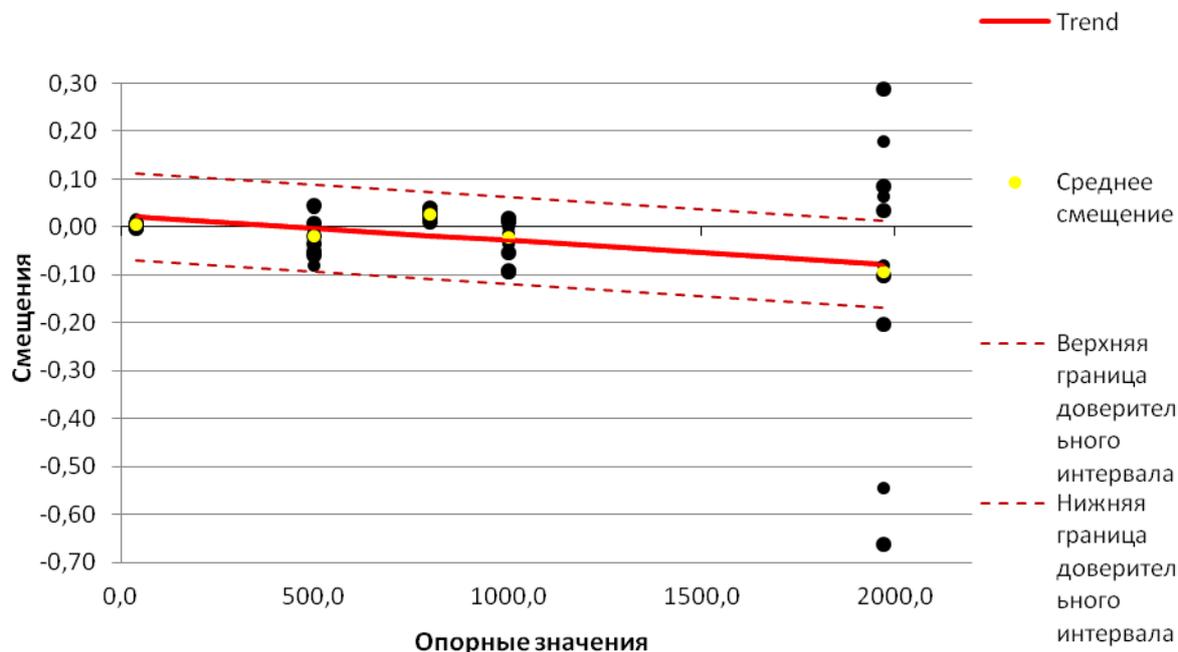


Рис. 3. График индивидуальных и средних смещений в отношении опорных значений

Выводы

На рассматриваемом предприятии функционирование СМК осуществляется в соответствии со стандартом ISO/TS 16949 - 2009. Это значит, что инструмент «MSA» должен использоваться в полной мере для подтверждения приемлемости всех измерительных систем предприятия.

MSA позволяет делать выводы о пригодности измерительных процессов. Это даёт возможность совершать коррекционные действия по улучшению ИС и, как следствие, гарантировать качество измеряемых параметров.

Библиографический список

1. Анализ измерительных систем. MSA. Ссылочное руководство. – 3-е изд., испр. Перевод с англ. – Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2007. – 242 с.
2. Васильчук А.В. Анализ измерительных и контрольных процессов (MSA) в автомобилестроении / А.В. Васильчук [и др.]. – Самара: ЗАО «Академический инжиниринговый центр»; ООО «Офорт», 2006. – 190 с.
3. ГОСТ Р ИСО/ТУ 16949-2009 Системы менеджмента качества. Особые требования по применению ГОСТ Р ИСО 9001 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части.
4. ГОСТ Р 51814.5-2005 Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Анализ измерительных и контрольных процессов.
5. ГОСТ Р 50779.42-99 Статистические методы. Контрольные карты Шухарта.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A. A. Pryguin¹, E. V. Zimina², V. N. Kaynova²

**MEASURING SYSTEM ANALYSIS BASING ON A COORDINATE
INSPECTION STATION**

JSC "Magna Tekhnoplast"¹,
Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev²

The methods of accuracy characteristics of measuring systems analysis, using the statistical approach, are described. A series of experiments for the measuring systems using ZEISS PRO Compact coordinate inspection station takes place. The research is of a universal character and the methods can be used for other measuring systems.

Key words: quality management systems, measuring system, coordinate inspection station, stability, displacement (shift) linearity, experiment, usability, measuring process.

УДК 621.9

В.В. Беспалов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА МАШИН

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приводится описание основных факторов, оказывающих влияние на качество машин. Рассматривается влияние на эксплуатационные показатели машины качество обработки поверхностей деталей. Изложена оценка точности обработки поверхностей деталей и выбор метода и средств, обеспечивающих качество поверхностей.

Ключевые слова: качество машин, качество поверхности, экономическая точность обработки, совершенство конструкции, эксплуатационные показатели машины.

Под качеством машины понимается совокупность её свойств, позволяющих выполнять заданные функции с минимальными трудовыми, материальными и энергетическими затратами при соблюдении правил хранения, технического обслуживания и технической безопасности. На качество машин влияют два основных фактора:

- совершенство конструкции;
- технический уровень отрасли машиностроения, выпускающий данное изделие.

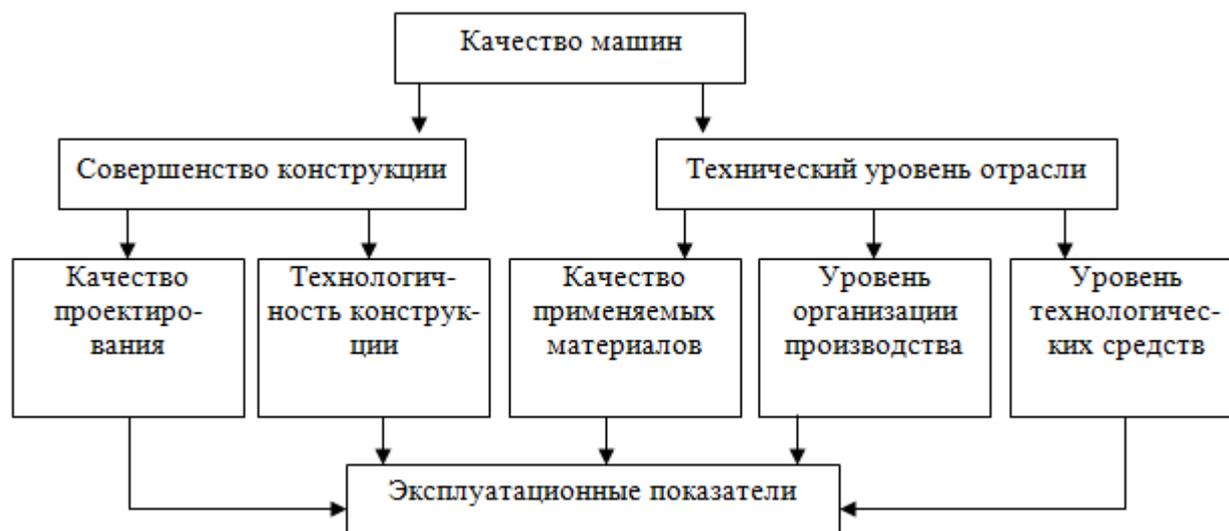


Рис. 1. Факторы, влияющие на качество машин

Совершенство конструкций обеспечивается в период конструкторской подготовки производства и имеет следующие основные показатели:

1) степень совершенствования проектирования. Например, использование ЭВМ для оценки конструкции в многовариантном использовании.

2) показатели технологичности конструкции.

При разработке конструкций машиностроительного изделия необходимо обеспечить функциональные требования к ней и возможность её изготовления по оптимальной технологии.

Технический уровень отрасли машиностроения влияет на ряд показателей качества изделия.

Качество применения материалов определяет показатели надежности, материалоемкости, технологичности изготовления и т.д. Например, применение низколегированных сталей вместо сталей обыкновенного качества позволяет уменьшить металлоемкость до 50%.

Уровень организации производства оказывает влияние на качество машин. Оно может быть организовано по принципу технологического потока (оборудование располагается в соответствии с маршрутом обработки) или по группам металлорежущего и другого оборудования (в цеху групп токарных станков, групп фрезерных и т.д.).

Уровень технологии и технических средств существенно влияет на качество обработки поверхностей деталей и качества сборки. К техническим средствам относятся металлорежущие станки, инструмент, технологическая оснастка и др. Например, качество поверхностей, обработанных резанием, зависит от точности станков (станки нормальной Н, повышенной В точности и т.д.), от которой зависят качества точности, параметры шероховатости, точность формы и др.

На эксплуатационные показатели машины оказывает влияние качество обработанных поверхностей составляющих её деталей. На рис. 2 приведены основные факторы, влияющие на качество обработки поверхности детали.

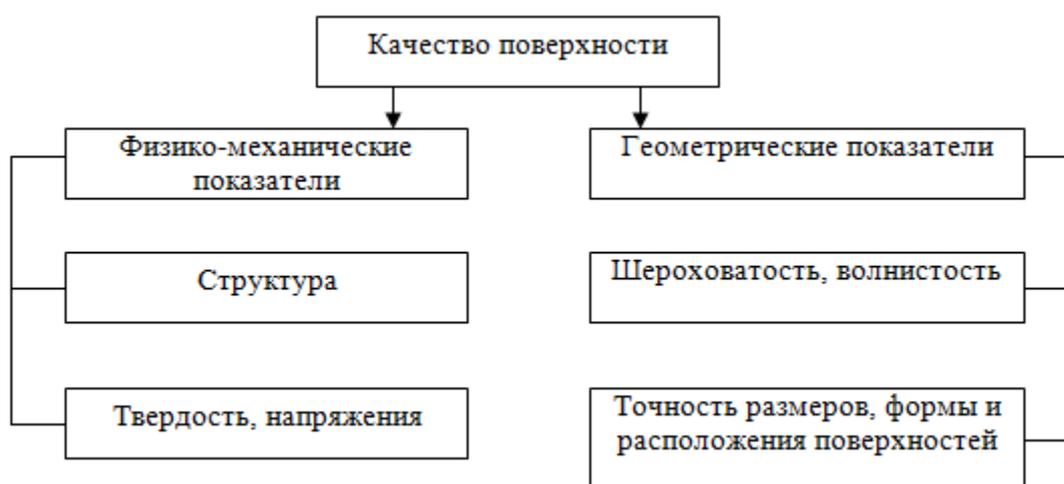


Рис. 2. Факторы, влияющие на качество обработки поверхности

Качество поверхности деталей обеспечивается на стадии изготовления заготовок, их дальнейшей механической и термической обработки. При этом изменяется структура металла, что связано с дроблением зерен металла, ориентации их в направлении главного движения при обработке резанием и пластическим деформированием. Структура металла меняется в результате термической обработки с целью повышения твердости.

Изменение твердости происходит и в процессе резания в результате пластического деформирования металла режущей кромкой инструмента. При этом в поверхностном слое возникают сжимающие и растягивающие напряжения. Благоприятными являются сжимающие напряжения, особенно при знакопеременных нагрузках. Растягивающие напряжения, возникающие на поверхности детали, особенно при грубой обработке резанием, суммируются с рабочими, возникающими при эксплуатации. При превышении предела прочности материала может произойти поломка детали или сборочной единицы.

На рис. 3 показаны фрагменты контактирующих поверхностей. При перемещении поверхности II относительно поверхности I происходит зацепление неровностей друг с другом, и для разрушения мест контакта необходимо дополнительное усилие. Это в свою очередь влияет на коэффициент полезного действия машины.

В глубоких впадинах неровностей необработанной поверхности возникает растягивающее напряжение σ , что снижает надежность работы соединения.

Технологическими методами можно уменьшить влияние шероховатости на эти показатели. Например, можно снизить высоту неровностей тонким обтачиванием, шлифованием или пластическим деформированием поверхностного слоя. Качество обработанной поверхности можно регулировать, изменяя режимы резания: глубину резания t , скорость резания V , подачу S .

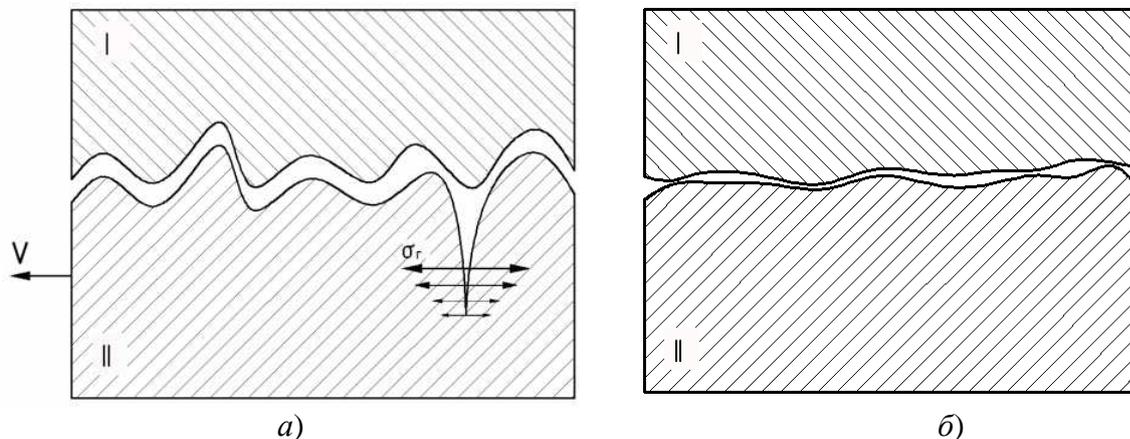


Рис. 3. Фрагменты контактирующих поверхностей:
 а – с неблагоприятными параметрами шероховатости;
 б – с благоприятными параметрами шероховатости (после шлифования)

Глубина резания оказывает влияние на параметры качества поверхности при окончательном проходе инструмента. При этом проходе глубина резания принимается минимально возможной для данных условий обработки, $t = 0,2 \dots 0,8$ мм.

Скорость резания оказывает влияние на качество обработанной поверхности преимущественно для пластичного металла (малоуглеродистые стали и др.). В процессе резания на передней поверхности резца скапливаются очень сильно деформированные частицы металла, твердость которых выше, чем обрабатываемый материал. Угол заострения становится тупым, условия резания резко ухудшаются, происходит вырывание частиц металла вместо резания, шероховатость резко возрастает. При обработке среднеуглеродистых сталей, прошедших нормализацию, а также хрупких материалов (чугун, бронза) нарост не образуется.

С уменьшением угла ϕ и ϕ_1 шероховатость обработанной поверхности понижается (рис.4). Поэтому при окончательной обработке для уменьшения высотных параметров шероховатости R_a применяют резцы с меньшей величиной углов ϕ и ϕ_1 . Благоприятные параметры качества поверхности могут быть обеспечены пластическим деформированием поверхностного слоя, например, при обкатке роликами (рис. 5).

При вращении заготовки и продольной подачи державки с роликом происходит пластическое деформирование поверхностного слоя с уменьшением высоты неровности.

Механическая обработка поверхностей осуществляется пластическим деформированием и резанием. В машиностроении большинство поверхностей подвергается обработке резанием для получения требуемой формы, точности и качества поверхности. При этом различают:

- допустимую точность, которая достигается при идеальных условиях обработки (новый станок, инструмент, рабочий высокой квалификации, неограниченное время обработки);
- экономически обоснованную точность, которая достигается в производственных условиях (станок средней изношенности, квалификация рабочего соответствует вы-

полняемой работе, инструмент стандартный, время обработки нормируется). Экономическая точность различных методов обработки приведена в табл. 1.

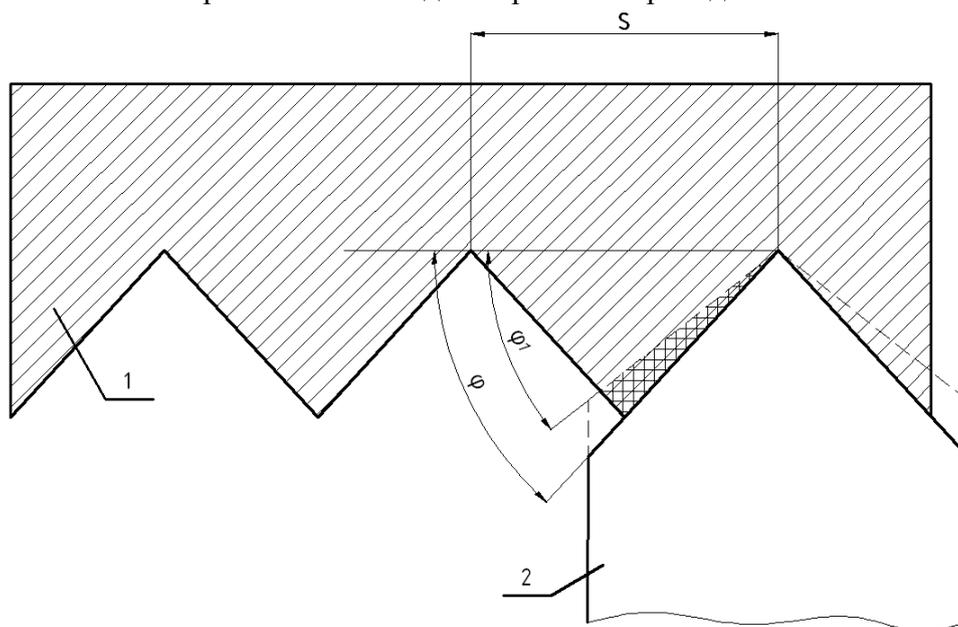


Рис. 4. Влияние угла φ на шероховатость обработки поверхности:
1 – заготовка; 2 – резец

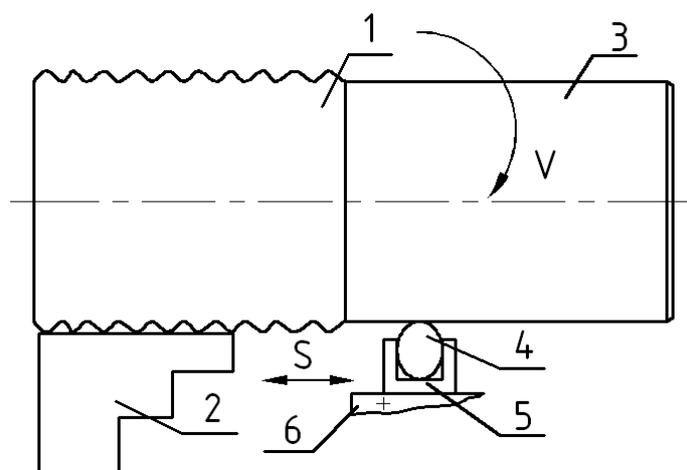


Рис. 5. Схема пластического деформирования поверхностного слоя для уменьшения шероховатости:

1 – поверхность до обкатки роликом; 2 – кулачки; 3 – поверхность после обкатки роликом; 4 – ролик; 5 – держатель; 6 – резцедержатель

При выборе метода обработки в производственных условиях следует руководствоваться факторами качества и производительности. Например, при обтачивании наружной поверхности вала можно обеспечить точность по 7 качеству, шероховатость 0,4 мкм R_a . Эти же требования чертежа можно обеспечить шлифованием. Однако производительность обработки в первом случае на порядок выше. Необходимо также учитывать, что с увеличением точности обработки себестоимость резко повышается, так как для обеспечения более высокой точности требуется более высокая квалификация рабочего, станки повышенной и высокой точности, увеличиваются затраты на контроль и настройку.

Таким образом, для технологического обеспечения качества машин необходимо учитывать факторы, оказывающие на них влияние, и выбирать методы обработки и средства

обеспечения параметров качества поверхностей деталей, которые обеспечивают это качество при наибольшей производительности и меньшей себестоимости.

Таблица 1

Экономическая точность обработки

Метод обработки	Квалитет точности	Шероховатость R_a , мкм
Точение:		
– черновое	12-13	12,5
– чистовое	10-11	1,6-0,8
– тонкое	6-7	0,4-0,2
Фрезерование:		
– черновое	11-12	12,5
– чистовое	8-10	1,6-0,8
Сверление	11-12	12,5-6,3
Зенкерование:		
– черновое	12	12,5-6,3
– чистовое	11	12,5-6,3
Развертывание:		
– черновое	8-9	1,6-0,8
– чистовое	7	0,8—0,4
Шлифование:		
– черновое	8-10	0,8-0,4
– чистовое	6-7	0,4-0,2

Библиографический список

1. Беспалов, В.В. Основы технологии машиностроения / В.В. Беспалов. – Н. Новгород: НГТУ, 2012. – 179 с.
2. Беспалов, В.В. Основы технологии автотракторостроения / В.В. Беспалов. – Н.Новгород: НГТУ, 2013. – 216 с.
3. Производственные технологии / Д.П. Лисовская [и др.]. – Мн.: Вышэйшая шк., 2005. – 479 с.
4. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А.Г. Суслов, В.П. Федоров, О.А. Горленко [и др.]; под ред. А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

V. V. Bepalov

ENGINEERING SUPPORT OF THE QUALITY OF THE MACHINES

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R. E. Alexeev

Description of the main factors having an effect on the quality of the machines is set up. The influence on the operational characteristics and the quality of the pieces surfaces processing is studied. The evaluation of the accuracy of the pieces surfaces processing and the choice of the methods and instruments providing for the quality of the surfaces is effected.

Key words: quality of the machines, surface quality, economic accuracy of processing, perfection of construction, operational characteristics of a machine.

УДК 621.001.2(075)

Б.А. Метелёв

РАЗВИТИЕ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ ОБ ЭЛЕМЕНТАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Основываясь на принципе поэтапной обработки деталей в машиностроении и учитывая нормативный подход к вопросам проектирования технологических процессов обработки деталей приводятся уточнённые понятия основных их элементов. Эти элементы рассматриваются в развитии с целью более полного учёта всех возможных условий их назначения, в число которых входят экономически целесообразные технологические возможности оборудования, основные положения, обусловленные этапностью обработки детали, и принцип максимальной концентрации элементов технологического процесса.

Ключевые слова: операция, установ, позиция, технологический переход, этапы обработки детали, технологическое оборудование.

Основными элементами технологического процесса являются операция, установ, позиция, технологический переход. Ещё в 30-е годы основоположниками технологии машиностроения [1] утверждалось, что операция состоит из установов, установы – из позиций, позиции – из технологических переходов. Выделение этих элементов являлось обязательным. Со временем в технологической документации для многих технологических процессов упоминание об установах и особенно о позициях исчезло. Получается, что операция состоит только из технологических переходов.

При нормативном проектировании технологических процессов формирование основных элементов процесса и указания их в технологической документации становятся просто необходимостью. Более того, возникает потребность в терминологическом уточнении понятий основных их разновидностей.

Технологическая операция. Под операцией следует понимать законченную часть технологического процесса, характеризуемую выполнением совокупности установов на одном рабочем месте [2, 3]. Признаком операции является неизменность применяемого оборудования. В зависимости от количества обрабатываемых деталей, количества выполняемых установов и последовательности выполнения установов можно выделить несколько разновидностей операции.

По количеству обрабатываемых деталей:

- операции для обработки одной детали;
- операции для обработки нескольких деталей.

Для операции второй разновидности следует применять несколько одноместных приспособлений или одно многоместное.

По количеству выполняемых установов выделяются операции с одним установом ($N_{уст} = 1$) и с несколькими установами ($N_{уст} > 1$).

Существуют несколько видов станков, у которых конструктивно заложено $N_{уст} = 1$ - это токарно-револьверные станки, многолезцовые токарные копировальные станки.

По последовательности выполнения установов (для $N_{уст} > 1$) различают операции с:

- последовательным выполнением;
- параллельным выполнением;
- параллельно - последовательным выполнением.

Количество установов в операции и последовательность их выполнения предопределяются выбранным оборудованием и оснасткой.

Установ. Под установом следует понимать часть операции, характеризуемую выполнением совокупности технологических позиций (или переходов) при обработке одной детали и постоянной схеме установки [3].

Можно выделить несколько разновидностей установа: по методу достижения точности, по последовательности выполнения позиций в установе, по количеству позиций в установе.

По методу достижения точности обработки различают:

- установ, реализующий индивидуальный метод достижения точности;
- установ, реализующий автоматический метод достижения точности.

Первая разновидность характерна при обработке детали в единичном производстве на ненастроенном оборудовании, установ состоит из переходов.

Вторая разновидность имеет место в серийном и массовом производствах. Обработка деталей производится на настроенном оборудовании. Установ состоит из позиций и характеризуется установкой детали в специальное, специализированное или универсальное приспособление с настройкой режущего инструмента для обработки партии деталей.

По количеству позиций в установе можно выделить однопозиционные ($N_{\text{поз}} = 1$), многопозиционные ($N_{\text{поз}} > 1$) и установы, не имеющие позиций ($N_{\text{поз}} = 0$). Последние характерны для установов единичного производства при обработке деталей на универсальных станках.

Количество позиций предопределяется технологическими возможностями выбираемого оборудования.

По последовательности выполнения позиций установы различают с параллельным и последовательным выполнением позиций. Последовательность выполнения позиций предопределяется технологическими возможностями выбираемого оборудования.

Признаком смены установа является изменение схемы установки детали.

Позиция. Следует различать конструктивную позицию и технологическую позицию [3].

Конструктивная позиция предопределяется конструкцией станка. Это многошпиндельные токарные станки, где каждый шпиндель соответствует конструктивной позиции. Это многопозиционные агрегатные станки. Количество конструктивных позиций на станке используется как ограничение при проектировании технологического процесса.

Технологическая позиция – это элемент технологического процесса и он является расчётным. Что же будем понимать под технологической позицией?

Под технологической позицией будем понимать часть установа, характеризуемую выполнением совокупности технологических переходов одного вида обработки (одной точности) на настроенном станке.

Основным признаком технологической позиции является неизменность наладки инструментов.

Можно выделить несколько разновидностей позиций: по структуре, по последовательности выполнения технологических переходов, по виду обработки.

По структуре выделяются две разновидности позиции, при которых обеспечивается:

- а) для первой разновидности - постоянство применяемого комплекта инструментов;
- б) для второй разновидности – неизменность положения обрабатываемой детали.

Первая структура характерна для токарно-револьверных станков и токарных универсальных станков, работающих с элементарной настройкой инструментов (например, по упорам, по лимбу и т.д.) Признаком смены позиции в этом случае является смена комплекта инструментов (поворот револьверной головки). Вторая структура характерна для токарных многошпиндельных автоматов и полуавтоматов, агрегатных станков с поворотным столом. Признаком смены позиции является перемещение детали в другое положение. Для станков типа «обрабатывающий центр» (ОЦ) с горизонтальным шпинделем и поворотным столом характерны обе структуры позиции.

При первой структуре позиции поворот детали означает смену технологического перехода, а смена инструмента – изменение позиции. При второй структуре позиции смена инструмента соответствует изменению технологического перехода, а поворот детали – смене позиции. Время выполнения технологических переходов, составляющих содержание позиции первой структуры, меньше, поэтому при проектировании технологического установа вначале рассматривается возможность формирования позиции первой структуры, а потом второй.

По последовательности выполнения технологических переходов в позиции можно выделить позиции с последовательным и параллельным их выполнением. В большинстве случаев последовательность выполнения переходов predetermined технологическими возможностями выбираемого оборудования. По виду обработки следует различать позиции:

черновой обработки ($IT_{12...13}$), получистовой обработки (IT_{11}), чистовой обработки ($IT_{10...9}$), повышенной точности ($IT_{8...7}$), высокой точности (IT_6), особо высокой точности (IT_5) и отделочной обработки ($Ra < Ra_H$). Технологические переходы по обработке основных поверхностей детали в каждой отдельной позиции выполняются с одинаковыми точностью и качеством.

Технологический переход. Технологические переходы можно представить как элементарные и совокупные.

Под элементарным переходом (ЭП) понимается обработка одним простым инструментом одной поверхности при постоянном режиме резания. Изменение хотя бы одного из указанных условий обработки означает смену одного элементарного перехода на другой.

Под совокупным технологическим переходом (Σ ЭП) понимается законченная часть позиции (или установка), характеризующаяся выполнением нескольких элементарных технологических переходов в автоматическом режиме. Совокупный технологический переход реализуется в виде нескольких разновидностей: инструментального перехода (ИП), блочного перехода (БП), комбинированного перехода (КП) и совмещенного перехода (СП).

Инструментальный переход – это законченная часть позиции по обработке одним инструментом последовательно нескольких поверхностей детали с конкретными режимами резания в автоматическом режиме. Этот переход характерен при обработке на станках с ЧПУ, станках типа «обрабатывающий центр», при копировальной обработке по копиру.

Блочный переход - это законченная часть позиции по одновременной (параллельной) обработке нескольких поверхностей детали несколькими инструментами, закреплёнными в одном инструментальном блоке (в суппорте, головке и т.п.) с конкретными режимами резания в автоматическом режиме. На рис. 1 представлена схема обработки детали в некоторой позиции на токарном многолезцовом полуавтомате.

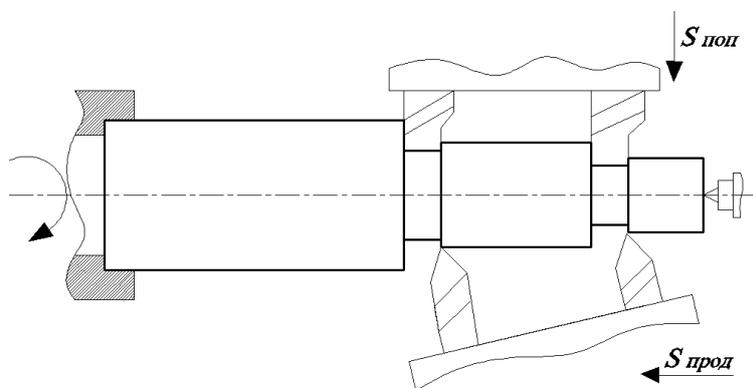


Рис. 1. Обработка детали на токарном многолезцовом полуавтомате

На указанном полуавтомате в позиции реализуются два блочных перехода: один, работающий с продольной подачей и содержащий два инструмента, и второй, работающий с

поперечной подачей и содержащий также два инструмента. Блочный переход характерен для всех автоматов и полуавтоматов, исключая станки с ЧПУ и ОЦ.

Комбинированный переход – это часть позиции, выполняемая комбинированным инструментом. Комбинированный переход реализуется в виде двух разновидностей: комбинированного инструментального перехода (КИП) и комбинированного блочного перехода (КБП). Комбинированный инструментальный – это переход, когда одним комбинированным инструментом обрабатывается одна поверхность последовательно. Примером может быть обработка отверстия инструментом – «сверло-зенкер». Комбинированный блочный – это переход, когда одним комбинированным инструментом обрабатываются несколько цилиндрических поверхностей параллельно. Примером может быть обработка двух смежных отверстий инструментом – «зенкер-зенкер». Комбинированные переходы являются характерными при обработке деталей на токарно-револьверных станках, токарных многошпиндельных горизонтальных, расточных автоматах и полуавтоматах, агрегатных станках.

Совмещённый переход – это часть позиции (или установка), выполняемая одним инструментом по обработке двух смежных поверхностей. Например, обработка канавочным резцом с углом в плане $\varphi_1 = 90^\circ$ наружной цилиндрической поверхности и смежного с ней торца. В дальнейшем совокупный технологический переход (Σ ЭП) будем называть просто технологическим переходом.

Указанные разновидности основных технологических переходов позволяют более определённо либо выбрать вид режущего инструмента, либо сформулировать исходную информацию для разработки инструментальной наладки или инструментального кодера, либо для разработки управляющей программы.

Формообразование поверхности связано с понятием метода обработки. В настоящее время в учебной литературе и в справочниках метод обработки именуется и как способ обработки, и как вид обработки. Тенденция формализации технологического проектирования требует от каждого термина вполне определённого смысла.

Под методом обработки понимают процесс обработки, осуществляемый определённым видом обрабатывающего инструмента при обработке определённого вида поверхности с целью получения необходимой точности и качества этой поверхности. В зависимости от вида обрабатываемой поверхности и применяемого оборудования можно выделить некоторые разновидности методов обработки. По виду обрабатываемой поверхности различают наружное, внутреннее и плоское шлифование, свободное и координатное протягивание и т.д. По применяемому оборудованию можно выделить три разновидности методов: основные, вспомогательные и дополнительные. Признаками этих разновидностей являются:

- а) идентичность названия метода обработки и основного предназначения применяемого оборудования;
- б) возможность выполнения технологического перехода с использованием механической подачи без применения специальных устройств.

В табл. 1 приведены разновидности методов обработки по признаку применяемого оборудования.

Таблица 1
Разновидности методов обработки поверхностей деталей по применяемому оборудованию

Разновидности методов обработки	Признаки		Оборудование			
	первый	второй	УТС	УТВС	УФС	ТРС
Основные	+	+	Т	Т, НР	Фр	Т, С, Рс, З, Р З, НР
Вспомогательные	-	+	Рс, НР	Рс	С, З, Рз	-

Дополнительные	-	-	С,З,Рз	С,З,Рз	Фр _{фас}	-
----------------	---	---	--------	--------	-------------------	---

Принятые обозначения в табл. 1:

- УТС – универсальный токарный станок;
- УТВС – универсальный токарный винторезный станок;
- УФС – универсальный фрезерный станок;
- ТРС – токарно-револьверный станок;
- Т – точение;
- НР – нарезание резьбы;
- Рс – растачивание;
- З – зенкерование;
- Фр – фрезерование;
- Фр_{фас} – фасонное фрезерование.

Используя понятие о выделении основной разновидности методов обработки, можно сформулировать положение о правильности выбора оборудования: совпадение назначенных методов обработки основных поверхностей детали и основных методов обработки, характерных для выбираемого технологического оборудования, является главным условием рационального его назначения.

Вспомогательные и дополнительные методы обработки на выбранном оборудовании могут быть использованы, если они составляют меньшую долю обработки по сравнению с основными.

Способ обработки представляется как конкретная реализация метода обработки. Способом обработки будем называть метод обработки, характеризующейся применением определённого типа обрабатывающего инструмента при обработке определённого типа деталей. В качестве примера можно привести: фрезерование торцевыми фрезами, фрезерование концевыми фрезами, точение проходными резцами, точение подрезными резцами.

Вид обработки. Как показывает технологическая практика, достижение высоких качественных и точностных характеристик обрабатываемых поверхностей происходит за несколько стадий обработки. Под стадией обработки поверхности обычно понимают обработку на конкретном оборудовании конкретным обрабатывающим инструментом при определённых условиях (режимах) обработки. Так отверстие по 12-му качеству обеспечивается за одну стадию – сверление, отверстие по 9-му качеству – за три стадии: сверление, зенкерование и развёртывание; наружная цилиндрическая поверхность по 9-му качеству – за три стадии: точение, точение и точение (табл. 2).

Стадию обработки поверхности, осуществляемую конкретным способом (методом) и характеризующую определённой точностью и качеством обрабатываемой поверхности, будем называть видом обработки (табл. 2).

Таблица 2

Стадии и виды обработки поверхностей детали

Обрабатываемые поверхности	Стадии обработки			Виды обработки		
	1	2	3	1 вид	2 вид	3 вид
ВЦП Ø20Н12, Ra6.3	сверление			Сверление Н12, Ra _Н 6.3		
ВЦП Ø16Н9, Ra1.6	сверление	зенкерование	развёртывание	Сверление Н12, Ra _Н 6.3	Зенкерование Н11, Ra _Н 3.2	Развёртывание Н9, Ra _Н 1.6

НЦП $\varnothing 18h9$, $Ra 1.6$	точение	точение	точение	точение $h12, Ra_H 6.3$	точение $h11, Ra_H 3.2$	точение $h9, Ra_H 1.6$
--------------------------------------	---------	---------	---------	----------------------------	----------------------------	---------------------------

Учитывая, что стадия обработки детали, характеризуемая определённой точностью и качеством обрабатываемых поверхностей, представляет собой этап обработки, то виды обработки поверхности можно называть в соответствии с названиями этапов: черновой, получистовой, чистовой, повышенной, высокой и особо высокой точности, а также отделочный [4,5].

Если в приведённой табл.2 обрабатываемые поверхности отнести к одной детали, то она будет обрабатываться за три этапа: черновой, получистовой и чистовой.

Вид обработки поверхности в соответствии с точностной и качественной информацией по чертежу детали характеризует последний технологический переход типового плана обработки этой поверхности.

Схема обработки представляет собой наглядное изображение способа обработки с указанием приспособления и обрабатывающего инструмента в полуконструктивном виде. Используется на ранних стадиях изучения технологического оборудования, рабочих приспособлений и режущего инструмента.

Структура операции. Под структурой операции понимается количественное содержание в ней отдельных технологических элементов: установов, позиций и переходов. При этом отмечаются виды технологических элементов, последовательность их выполнения, точностная и качественная характеристика отдельных элементов.

Рассмотрим структуру операций в различных типах производства.

Для единичного производства характерно:

- а) в одной операции может быть несколько установов;
- б) позиции в установе отсутствуют;
- в) установы состоят из переходов;
- г) переходы могут быть только ЭП и СП;
- д) выполнение установов в операции и переходов в установе последовательное.

Для массового (крупносерийного) производства:

- а) в одной операции формируется один установ;
- б) в одном установе может быть одна или несколько позиций, выполняемых параллельно;
- в) переходы в позиции могут быть любыми: ЭП, БП, ИП, КП, СП, выполняемые параллельно. Наибольшее предпочтение должно отдаваться БП, ИП и КП.

Для серийного производства:

- а) в одной операции могут быть несколько установов, выполняемых последовательно;
- б) в одном установе могут быть несколько позиций, выполняемых последовательно;
- в) в одной позиции могут быть несколько переходов с последовательным или параллельным их выполнением.

Структура операций позволяет облегчить процесс формализации технологического процесса по временному фактору.

Таким образом, анализ основных понятий об элементах технологического процесса и их развитие обуславливает:

- а) рациональный выбор технологического оборудования;
- б) разумное назначение инструментального обеспечения;
- в) выбор окончательного метода и вида обработки рассматриваемой поверхности детали;
- г) формирование плана обработки отдельной поверхности детали;
- д) установление этапов обработки детали в целом;
- е) подход к формализованному проектированию технологического процесса.

Библиографический список

1. **Соколовский, А.П.** Основы технологии машиностроения. – Л-М.: НМК СССР Гос. научно-техн. изд-во машиностр. литературы, 1938. Т. 1. – 680 с.
2. Технология машиностроения: Т. 1. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; под ред. А.М. Дальского. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана; 2001. – 564 с.
3. **Метелёв, Б.А.** Основные положения по формированию обработки на металлорежущем станке: Учеб. пособие/ НГТУ. Нижний Новгород, 1998. – 110 с.
4. **Метелёв, Б.А.** Этапность обработки деталей в машиностроении // Технологические процессы и оборудование машино- и приборостроения: сб. научных трудов; НГТУ Н.Новгород, 1995. С. 79–84.
5. **Метелёв, Б.А.** Планы обработки поверхностей деталей машин // Технологические процессы и оборудование машино- и приборостроения: сб. научных трудов; НГТУ Н.Новгород, 1995. С. 62–66.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

В. А. Metelyov

**DEVELOPMENT OF THE BASIC NOTIONS OF THE ELEMENTS
OF THE TECHNOLOGICAL MACHINING PROCESS**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

Proceeding from the principle of stage-by-stage machining of parts in mechanical engineering, and considering the normative approach to the matters of designing of technological processes of spare parts machining, the refined notions and terms related to the basic elements of the latter are presented. These elements are being studied in their state of development to enable a more complete regard upon all possible conditions of their appointment, including economically reasonable technological capabilities of the equipment, basic provisions determined by the stage-by-stage approach to machining of a part and the principle of the maximum concentration of the elements of a technological process.

Key words: operation, setup, position, machining (operating) step, stages of a part machining, technological equipment.

УДК 658.527.011

А.А Иванов

ОПТИМАЛЬНЫЕ РАСПИСАНИЯ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК БЕЗ ПЕРЕНАЛАДКИ СТАНКА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Оптимальные расписания обработки заготовок обеспечивают минимизацию максимальной длительности прохождения заготовок в системе. Представленные алгоритмы составления оптимальных расписаний могут быть использованы только при отсутствии переналадки станков.

Цель работы: Использование методики расчета оптимальных расписаний, обеспечивающих повышение производительности процесса обработки заготовок.

Метод проведения работы: Для составления оптимальных расписаний используются алгоритмы SPT (Short Processing Time) и Джонсона.

Результаты и область их применения: Оптимальные расписания при параллельной и последовательной обработке заготовок позволяют минимизировать время ожидания обработки.

Выводы: Представленные алгоритмы оптимизации обеспечивают повышение производительности систем механообработки.

Ключевые слова: оптимальное расписание, поточная линия, параллельная обработка, последовательная обработка.

Задача составления оптимальных расписаний относится к задачам комбинаторного типа, так как ее решение связано с выбором из $N!$ вариантов обработки (сборки).

Параллельная обработка заготовок на группе однородных станков проводится с целью повышения производительности на «узких» участках производства. Партия заготовок доставляется на участок обработки и разбивается на группы по числу станков (**статическая система**). Оптимальное расписание составляется для каждого станка независимо от других и минимизирует время ожидания обработки $t_{ож}$, так как время $\sum t_i = \text{const}$ и зависит лишь от технологии обработки (t_i – время обработки i -й заготовки).

При отсутствии ограничений для составления оптимального расписания обработки на каждом станке используется алгоритм SPT (Short Processing Time), по которому упорядочение заготовок имеет вид [2]

$$t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_N.$$

Однако алгоритм SPT не обеспечивает равномерной загрузки станков, при которой снижаются их простои. Покажем это на примере. Пусть имеется партия из шести заготовок с фактическими временами обработки t_i (1,2,3,4,5,6), которую надо распределить между двумя станками. Используя алгоритм SPT, составим расписание обработки на обоих станках:

C1	1	3	5	$\sum t_i = 9$
C2	2	4	6	$\sum t_i = 12$

Первый станок, закончив обработку, будет простаивать 3 ед. времени в ожидании поступления новой партии заготовок. Для выравнивания суммарного времени $\sum t_i$ используют следующее правило: вначале на станок идет заготовка с t_{\max} , затем из оставшихся – опять заготовка с t_{\max} и т.д. В результате получим промежуточное расписание

C1	6	3	2	$\sum t_i = 11$
----	---	---	---	-----------------

C2	5	4	1	$\Sigma t_i = 10$
----	---	---	---	-------------------

Здесь заготовка с $t = 4$ идет на станок C2, так как станок C1 в это время занят. В этом случае неравномерность загрузки станков уменьшилась и простой станка C2 минимален (1 ед. времени). Окончательное расписание получаем, применяя алгоритм SPT

C1	2	3	6	$\Sigma t_i = 11$
C2	1	4	5	$\Sigma t_i = 10$

Если в системе имеет место ограничение в виде плановых (директивных) сроков обработки d_i , то расписание имеет вид (алгоритм Джексона):

$$d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_N .$$

Для случая $\Delta t_i = d_i - t_i < 0$ имеем запаздывание в выполнении работ, а в случае $\Delta t_i > 0$ – опережение, т.е. резерв времени. Расписание с Δt_i имеет вид

$$\Delta t_1 \leq \Delta t_2 \leq \dots \leq \Delta t_N .$$

Алгоритм Джексона дополнен Смитом для случая, когда максимальное запаздывание

работ равно нулю, т.е. $d_i \geq \sum_{i=1}^N t_i$ (алгоритм Джексона-Смита). В этом случае из группы заго-

товок, удовлетворяющих данному условию, выбирается заготовка с максимальным временем обработки t_i и для оставшихся $N - 1$ заготовок процедура повторяется.

Динамическая система

Статическая система превращается в динамическую, если вводится дополнительное ограничение, регламентирующее время поступления r_i заготовок на участок обработки. В этом случае программа «автоматический диспетчер» должна распределять поступающие заготовки по станкам в соответствии с расписанием, обеспечивающим обработку в заданные сроки.

Пример работы программы автоматического диспетчера.

Партия из 7 заготовок обрабатывается на трех станках. Характеристики заготовок приведены в табл. 1. Кроме номеров заготовок, в таблице указаны фактические t_i и плановые d_i сроки обработки, а также время поступления r_i заготовок на участок.

Таблица 1

Характеристики партии заготовок в динамической системе

№ заг.	1	2	3	4	5	6	7
t_i	2	5	6	3	8	10	1
r_i	0	6	1	3	8	2	6
d_i	5	16	10	7	20	18	10

На множестве $\{r_i\}, \{d_i\}$ построим временные интервалы:

(0,1); (1,2); (2,3); (3,5); (5,6); (6,7); (7,8); (8,10); (10,16); (16,18); (18,20).

На временные интервалы наложим номера поступивших в моменты r_i заготовок и проведем их распределение по трем станкам (табл. 2).

Таблица 2

Распределение заготовок по трем станкам в динамической системе

Инт.. Ст-к	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C1	1	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6									
C2		3	3	3	3	3	3	2	2	2	2									
C3				4	4	4	7		5	5	5	5	5	5	5	5				

Последовательная обработка заготовок на поточной линии производится в соответствии с маршрутной технологической картой. Критерий оптимальности расписания – минимизация максимальной длительности прохождения заготовок в системе

$$\max T \rightarrow \min.$$

Это значит, что минимизируется цикловое время, которое напрямую связано с производительностью технологических систем ($Q_T = 1/t_{ци}$).

Теория показывает, что в поточной линии достаточно установить порядок обработки заготовок на первых двух станках С1 и С2 [2]. В общем виде расписание для двух станков представлено в табл. 3.

Таблица 3

Порядок обработки заготовок на первых двух станках поточной линии

C1	a_1	a_2	a_3	...	a_{N-1}	a_N	
C2		b_1	b_2		b_3	...	b_N

В представленном расписании в верхней строчке таблицы заданы a_i – длительности обработки заготовок на станке С1, а в нижней строчке – b_j - длительности обработки на станке С2. Индексы при a_i и b_j указывают порядок следования заготовок на обработку.

Из табл. 3 следует, что длительность $\max T$ равна

$$\max T \geq \sum_{i=1}^N a_i + b_N \quad \text{или} \quad \max T \geq a_1 + \sum_{j=1}^N b_j.$$

Суммы в этих выражениях не зависят от последовательности работ, так как определяются только технологией обработки заготовок. Поэтому уменьшить время $\max T$ можно лишь за счет выбора величин a_1 и b_N .

В основе алгоритма составления оптимального расписания при последовательной обработке заготовок на поточной линии лежит теорема Джонсона, результатом которой является соотношение [1,2]

$$\min (a_j, b_i) \leq \min (a_i, b_j).$$

Если имеем $\min (a_j) \leq \min (b_j)$, то заготовка a_j должна обрабатываться первой, а если $\min (b_i) < \min (a_i)$, то заготовка b_i будет обрабатываться последней. Соответственно обозначения заготовок будут: a_1, b_1 и a_N, b_N .

После того, как будет размещена одна заготовка, это правило применяется для оставшихся заготовок, пока не будет сформировано оптимальное расписание.

Пример.

В табл. 4 даны длительности обработки пяти заготовок на двух станках.

Таблица 4

Длительности обработки пяти заготовок на двух станках

№ заг.	1	2	3	4	5
a_i	6	0	5	8	2
b_j	3	2	4	6	1

Упорядочим массивы a_i и b_j в порядке возрастания

a_i	0 ₂	2 ₅	5 ₃	6 ₁	8 ₄
b_j	1 ₅	2 ₂	3 ₁	4 ₃	6 ₄

На станке С1 минимальная длительность обработки у заготовки 2 ($a_2 = 0$), а на станке С2 – у заготовки № 5 ($b_5 = 1$). Так как $a_2 < b_5$ ($0 < 1$), то заготовка 2 будет обрабатываться первой. Исключив ее из списка, получим

a_i	2 ₅	5 ₃	6 ₁	8 ₄
b_j	1 ₅	3 ₁	4 ₃	6 ₄

Здесь $b_5 < a_5$ ($1 < 2$), поэтому заготовка 5 должна обрабатываться последней. Продолжая эту процедуру с оставшимися заготовками, получим *оптимальное* расписание (по номерам заготовок): **2,4,3,1,5**.

Чтобы убедиться в этом, следует сравнить диаграммы с оптимальным и исходным расписанием. Диаграммы строят в масштабе по длительностям обработки.

$a_2 = 0$

a_i	$a_1 = 6$	$a_3 = 5$	$a_4 = 8$		$a_5 = 2$	5 ед.	
b_j		$b_1 = 3$	$b_2 = 2$	$b_3 = 4$	Простой 4 ед.	$b_4 = 6$	$b_5 = 1$

а)

$a_2 = 0$

a_i	$a_4 = 8$		$a_3 = 5$	$a_1 = 6$		$a_5 = 2$	2 ед.
b_j	$b_2 = 2$	Простой 6 ед.	$b_4 = 6$	$b_3 = 4$	Пр. 1 ед.	$b_1 = 3$	$b_5 = 1$

б)

Рис. 1. Диаграммы с исходным (а) и оптимальным (б) расписанием обработки заготовок на двух станках поточной линии

По диаграммам находим:

$$\max T_{\text{исх}} = 26 \text{ ед. времени, а } \max T_{\text{опт}} = 23 \text{ ед. времени.}$$

Выводы

В случае параллельной обработки заготовок на группе однородных станков оптимальное расписание составляется для каждого станка независимо от других и минимизирует время ожидания обработки (статическая система). При этом используется алгоритм SPT (Short Processing Time).

Критерием оптимальности расписания при последовательной обработке заготовок на поточной линии является минимизация максимальной длительности прохождения заготовок в системе. В этом случае в основе алгоритма составления оптимального расписания лежит теорема Джонсона.

Представленные алгоритмы составления оптимальных расписаний могут быть использованы только при отсутствии переналадки станков.

Библиографический список

1. **Иванов, А.А.** Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие / А.А. Иванов. М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
2. **Конвей, Р.В.** Теория расписаний / Р.В. Конвей, В.Л. Максвелл, Л.В. Милляр. – М.: Наука, 1975. – 324 с.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

A.A. IVANOV

**OPTIMAL SCHEDULES OF PARALLEL AND CONSECUTIVE PROCESSING
OF PIECES WITHOUT CHANGEOVER**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

Optimal schedules of processing of pieces allow for minimizing of the maximum passing time of the pieces in the system. The presented algorithms of optimal schedules set up can be used only if no changeover of the machines takes place.

Purpose: Making use of optimal schedules set up to provide for the productivity increase of processing of pieces.

Working methods: SPT (Short Processing Time) and Johnson algorithms are used for optimal schedules settlement.

Results and fields of application: Optimal schedules of parallel and consecutive piece processing allow to minimize the wait time at processing.

Conclusions: The presented optimization algorithms provide for the machining productivity increase.

Key words: optimal schedule, (continuous) processing line, parallel processing, consecutive processing.

УДК 621.7.011

А.М. Шнейберг, Ф.П. Михаленко

О НАКОПЛЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ НАГРУЖЕНИИ ОСАДКА + КРУЧЕНИЕ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Дается краткий обзор влияния больших деформаций при обработке давлением на структуру и свойства металлов. Предлагаются расчетные формулы для определения степени накопленной деформации при комбинированной осадке.

Ключевые слова: масштабно-структурные уровни пластической деформации, эволюция структуры, степень комбинированной деформации, степень линейной и сдвиговой деформации.

Большие пластические деформации привлекают внимание металлообработчиков и металлургов как один из способов получения сверхмелкого зерна, близкого к уровню наноструктуры ~ 100 нм. С ростом степени деформации имеет место увеличение прочностных характеристик материала и некоторая потеря пластичности в результате упрочнения. Для оценки величины упрочнения и технологических возможностей материала по ресурсу пластичности возникает необходимость оценки степени накопленной пластической деформации (или интенсивности деформации) e_i .

Необходимость определения величины e_i с целью прогнозирования предельной пластичности возникает и при использовании сравнительно нового технологического процесса обработки давлением – комбинированной деформации: сжатие с осевым вращением инструмента. К нему относятся, например, процессы комбинированной осадки, обратного выдавливания, прошивки, штамповки, компактирования сыпучих сред и др. В этом случае «мягкая» схема напряженного состояния (с.н.с.) позволяет получать большую степень e_i (сочетание линейной e и сдвиговой деформации γ) [1].

Оценить величину e_i при больших значениях пластической деформации путем сравнения механических свойств деформированного металла или его структуры бывает порой достаточно сложно. Дело в том, что эмпирические зависимости типа

$$\sigma = \sigma_0 + Ae^n \quad (1)$$

или физические уравнения, известные из теории дефектов кристаллической структуры [2],

$$\gamma = \rho bl, \quad (2)$$

$$k_{\text{НВ}} = \sigma \sim \sigma_0 + \alpha Gb\sqrt{\rho}, \quad (3)$$

где σ_0 - предел прочности, МПа; ρ - плотность дислокаций, $1/\text{см}^2$; b - вектор Бюргерса, см; l - длина свободного пробега дислокации, обычно не более размера зерна, см; G - модуль сдвига, МПа; НВ - твердость; A , n , k , α - константы, из которых можно получить связь между σ или НВ и степенью деформации (e или γ), или элементами атомной структуры справедливее скорее для начальных стадий пластической деформации для случая равномерно распределенных дислокаций и в отсутствии релаксационных эффектов. В отношении деформации монокристаллов это соответствует участку легкого скольжения ($\rho = 10^6 \div 10^8$ $1/\text{см}^2$) на кривой $\sigma(e)$.

При больших пластических деформациях большую роль играют атомные механизмы, связанные с движением ансамбля дислокаций. При $\rho \geq 10^{11} \dots 10^{12}$ дальнейшая деформация при «жесткой» с.н.с. приводит к разрушению, а при «мягкой» с.н.с. – не к росту плотности дислокаций, а к увеличению разориентировки между субзернами (ячейками), и имеет место уже другое соотношение

$$\sigma \sim kd^{-1/2}, \quad (4)$$

где d – размер ячейки.

Согласно [2-4], при постоянных значениях температуры и скорости деформации с увеличением e_i происходит эволюция структуры: увеличение плотности единичных дислокаций от $\rho = 10^6$ до 10^8 1/см²; далее образование скоплений дислокаций в виде клубков, жгутов, сложных мультиполей ($\rho = 10^8 \dots 10^{10}$ 1/см²), затем формирование ячеистой разориентированной структуры с плотностью дислокаций на границах субзерен до $10^{10} \dots 10^{12}$ 1/см². Происходит разбиение зерна на субзерна и их поворот, т.е. кроме трансляционного вида перемещения дислокаций вступают «в действие» ротационные моды, которые включают коллективные движения групп дислокаций, и которые именуется дисклинациями.

В работе [5] предлагаются масштабнo-структурные уровни пластической деформации при обработке давлением и соответствующие им степени деформации (осадкой)

$$e = \ln \frac{h}{h_0}, \quad (5)$$

где h_0 и h – исходная и конечная высота образца:

- макроструктурный уровень (дендритно-волоконистая структура) $e_i = 0 \dots -1,2$;
- микроструктурный (дислокационная структура),

$$e_i = \text{от } -1,2 \text{ до } -2,3,$$

- наноструктурный (атомно-молекулярная структура)

$$e_i = \text{от } -2,3 \text{ до } -\infty.$$

Последний уровень соответствует случаю интенсивной пластической деформации (ИПД), получаемой методами равноканального упрочнения (РКУП), осадки с кручением (КД) или всестороннейковки для получения необходимой величины укова.

На определенном этапе эволюции структуры металла общая плотность дислокаций даже начинает уменьшаться. Так, в работе [3] указывается, что при $e > 3$ на границах полигональных ячеек, очищенных от дислокаций ($\rho \leq 10^8$ 1/см²), появляются ультрамелкие зерна на $d \sim 0,5$ мкм. В работе В.А. Лихачева с сотрудниками [6] показано, что структура деформированных кручением медных образцов при $t = 20^\circ\text{C}$ проходит три стадии развития, причем на второй из них (перед стадией фрагментации, завершающейся разрушением) в результате динамической рекристаллизации появляются свободные от дислокаций зерна с размером $d \sim 5$ мкм. При этом относительная степень деформации составляла $\sim 3000\%$.

Отмечается эффект одновременного повышения показателей прочности и пластичности (фактически – ударной вязкости) после ИПД со сдвигом в холодном и полугорячем состояниях [7] при размере зерна от $5 \cdot 10^{-1}$ до 1 мкм, в то время как обычно с увеличением прочности пластичность уменьшается.

В работе [8] показано, что наиболее эффективными методами накопления деформации являются деформации с наличием сдвига: деформация стесненным кручением (СК) и комбинированная деформация осадкой (КД), в меньшей степени – РКУП. В еще меньшей степени – традиционные методы обработки давлением: прокатка, волочение, растяжение.

Наличие компоненты напряжения сдвига приводит к большим степеням ротационной (немонотонной) деформации и к формированию структуры, имеющей особенности. Так, после ИПД (РКУП, СК, КД) структура зеренная, а после традиционных методов деформации, которые автор относит к квазимонотонным – структура со слаборазориентированными ячейками. Кроме того указывается, что при больших деформациях связи между деформированным и структурным состоянием не прослеживается. Так, например, после деформации РКУП, степень деформации при которой подсчитывалась по формуле

$$e_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \operatorname{ctg} \beta / 2, \quad (6)$$

где β – угол пересечения каналов, и после комбинированной деформации осадки с кручением (КД), степень деформации при которой определялась по формуле

$$e_i = \frac{1}{h} \int_{t_0}^{t_1} \sqrt{v^2 + \frac{\rho^2 \dot{\phi}^2}{3}} dt \quad (7)$$

где ρ – текущий радиус образца; $\dot{\phi}$ – угловая скорость, равная $\dot{\phi} = 2\pi n$; n – число оборотов в единицу времени; v – скорость осадки (пресса), размер зерна отличается незначительно (0,2...0,3 мкм и 0,1 мкм, соответственно), в то время как величина e_i отличается более, чем на порядок 12...18 против 150...600.

Одной из причин, по мнению авторов [8], является различие в оценке степени накопленной деформации, которая представляет величину скалярную. При этом не учитывается векторность свойств деформации. Структурообразование зависит не только от тензора деформации, но и от тензора ротационной составляющей или тензора поворота.

Кривая упрочнения $\sigma - e_i$ из-за подобной эволюции структуры, конкуренции процессов упрочнения и релаксационных эффектов, особенно динамической рекристаллизации, которая при больших e_i может протекать даже при низких (комнатной) температурах и особенно в металлах с низкой энергией дефекта упаковки, не может дать однозначную зависимость между σ и e_i . При больших значениях e_i этой зависимости вообще нет; более того, при динамической рекристаллизации кривая $\sigma - e_i$ имеет волнообразный вид, а при полигонизации (в металлах и сплавах с высокой энергией дефекта упаковки) с ростом e_i значение σ сначала растет, а затем уменьшается.

Кроме того, в формуле (1), справедливой для небольших степеней e , переменными величинами являются ρ и l , оценка которых с учетом скорости зарождения и аннигиляции дислокаций также весьма сложна, и в каждом случае производится чисто эмпирически.

Очевидно, что величина упрочнения, полученного в процессе деформации, и характер формирования структуры кроме степени деформации зависит от многих других факторов: температуры, скорости деформации, типа кристаллической решетки, энергии дефекта упаковки, ориентировки (для монокристалла). Поэтому с учетом вышесказанного, в настоящей работе не ставится задача установления жесткой связи e_i со структурой и механическими свойствами деформированного материала, а всего лишь рассматриваются разные методы оценки больших деформаций «бесструктурного» материала при совместном комбинированном нагружении осадка-кручение.

Для расчета накопленной деформации (или степени интенсивности деформации) при различных схемах нагружения используются разные соотношения. При линейной деформации сжатия-растяжения-уравнение (5), при деформации РКУП – уравнение (6). При простом сдвиге.

$$\gamma = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta x}{y}. \quad (8)$$

При кручении стержня и при стесненном кручении (СК) степень сдвига равна

$$\gamma = \frac{\varphi r}{h}. \quad (9)$$

Иногда для сдвиговой деформации кручением используют формулу

$$\gamma = \ln \left(\frac{\varphi r}{h} \right), \quad (10)$$

где φ – угол закручивания, r – радиус образца.

Для сопоставления сдвиговой деформации γ с эквивалентной линейной $e_{\text{экв.}}$ используют критерий Мизеса

$$e_{\text{экв.}} = \frac{\gamma}{\sqrt{3}} = \frac{\varphi r}{\sqrt{3} h} \quad (11)$$

Последний получается из уравнения баланса работ при сдвиге и линейной деформации

$$V\sigma e = V\tau\gamma, \quad (12)$$

где V – объем образца; τ – касательное напряжение, равное $\frac{\sigma}{\sqrt{3}}$.

В работе [9] компонента тензора скорости сдвиговой деформации при осадке с кручением длинного образца задается в виде

$$\dot{\gamma}_{\varphi z} = \frac{\varphi \rho}{2h}.$$

Тогда сдвиговая компонента $\gamma_{\varphi z}$

$$\gamma_{\varphi z} = \gamma = \frac{\varphi \rho}{2h}, \quad (13)$$

где ρ – текущая величина радиуса, изменяющаяся от 0 до r .

Формулу для оценки накопленной деформации при комбинированной осадке с кручением можно получить, исходя из определения А.А. Ильюшина

$$e_i = \int_0^t \dot{e}_i dt, \quad (14)$$

где \dot{e}_i – интенсивность скорости деформации; t – время процесса деформации.

$$\dot{e}_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\dot{e}_z - \dot{e}_\rho)^2 + (\dot{e}_\rho - \dot{e}_\varphi)^2 + (\dot{e}_\varphi - \dot{e}_z)^2 + 6(\dot{\gamma}_{z\rho}^2 + \dot{\gamma}_{\rho\varphi}^2 + \dot{\gamma}_{\varphi z}^2)}. \quad (15)$$

Компоненты тензора скоростей линейной и сдвиговой деформации в цилиндрической системе координат принимаем в следующем виде [9]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\epsilon}_z = \frac{\partial v_z}{\partial z} = \frac{\partial \left(\frac{vz}{h} \right)}{\partial z} = -\frac{v}{h} \\ \dot{\epsilon}_\rho = \frac{\partial v_\rho}{\partial \rho} = \frac{\partial \left(\frac{v\rho}{2h} \right)}{\partial \rho} = -\frac{v}{2h} \\ \dot{\epsilon}_\varphi = \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} = v_\rho = \frac{v}{2h} \\ \dot{\gamma}_{z\rho} = \dot{\gamma}_{\rho\varphi} = 0 \\ \gamma_{\varphi z} = \frac{\phi \rho}{2h} = \frac{2\pi n \rho}{2h} \end{array} \right. \quad (16)$$

где $v_z = \frac{vz}{h}$; $v_\rho = \frac{v\rho}{2h}$; $v_\varphi = v_\rho \varphi$ – компоненты скоростей перемещения точек в направлении координат z, ρ, φ .

Заметим, что компонента скорости сдвига $\dot{\gamma}_{\varphi z}$ принята в соответствии с уравнением (13). Тогда при подстановке (13) в формулу (15) для случая чистого скручивания ($\dot{\epsilon}_z = \dot{\epsilon}_\rho = 0$; $\dot{\epsilon}_\varphi \neq 0$) без осадки, получим формулу (11) – эквивалента сдвиговой деформации.

Компоненты скорости перемещения любой точки цилиндрического образца определялись из закона постоянства потоков в данный момент времени

$$v_z \pi \rho^2 = v_\rho 2\pi \rho \cdot z.$$

Знак (-) соответствует деформации сжатия, а (+) – деформации растяжения.

В дальнейшем имеется в виду, что $z = h$, тогда

$$v_z = v \text{ – скорость машины.}$$

Подставляя (16) в (15) и принимая $\rho = r$, получим формулу для интенсивности скорости деформации, аналогичную формуле (7)

$$\dot{\epsilon}_i = \frac{1}{h} \sqrt{v^2 + 0,33 \phi^2 r^2}, \quad (17)$$

в которой переменными являются h и r .

Выражая r через h , получим

$$\dot{\epsilon}_i = \frac{1}{h} \sqrt{v^2 + 0,33 \frac{\phi^2 h_0 r_0^2}{h}}. \quad (18)$$

При подстановке (18) в (14) имеем

$$\dot{\epsilon}_i = \int_0^t \frac{1}{h} \sqrt{v^2 + 0,33 \frac{\phi^2 h_0 r_0^2}{h}} dt. \quad (19)$$

Выражая величину dt через dh

$$dt = -\frac{dh}{v}. \quad (20)$$

После подстановки (20) в (19), смены пределов интегрирования, преобразований и замены

$$i = \frac{v}{n} \quad (i - \text{кинematический параметр})$$

получим в общем виде уравнение

$$\dot{e}_i = - \int_{h_0}^h \frac{1}{h} \sqrt{1 + \frac{c}{h}} dh, \quad (21)$$

где постоянная величина $c = \frac{13,15 r_0^2 h_0}{i^2}$. (22)

Решение интеграла (21) дает

$$\dot{e}_i = 2 \left(\sqrt{\frac{h+c}{h}} - \sqrt{\frac{h_0+c}{h_0}} - \ln \frac{\sqrt{h} + \sqrt{h+c}}{\sqrt{h_0} + \sqrt{h_0+c}} \right). \quad (23)$$

Формула (24) дает значение $e_i = e_{max}$, то есть значение интенсивности деформации для наружной поверхности образца. Для случая $r = 0$ постоянная $c = 0$ и $e_i = - \ln \frac{h}{h_0}$.

Средняя накопленная деформация по объему образца при осадке с кручением будет зависеть от средней по объему деформации сдвига при кручении. Для деформации сдвига согласно уравнению (13) после его преобразований получим

$$d\gamma = \frac{r}{h} d\varphi = \frac{\pi r_0}{h^2/2i} dh. \quad (24)$$

После интегрирования имеем при $r = r_0$

$$\gamma = \gamma_{max} = 2\pi \frac{r_0}{i} \left(\sqrt{\frac{h_0}{h}} - 1 \right). \quad (25)$$

Средняя накопленная по объему деформация сдвига при КД определится как суммарная в объемах на элементарных участках $d\rho$, отнесенная к объему образца

$$\gamma_{cp} = \int_0^r \frac{2\pi \rho h \rho \varphi d\rho}{hV} = \frac{2\pi r^3 \varphi}{3V} = \frac{2}{3} \gamma_{max}. \quad (26)$$

Это означает, что средняя величина сдвига при кручении приходится на участок с радиусом $\rho = \frac{2}{3} r_0$.

Очевидно, чтобы найти среднюю накопленную деформацию при определении постоянной «с» в формуле (22) следует вместо r_0 брать $\frac{2}{3} r_0$. Заметим, если при обработке давлением процесс ограничивается резервами пластичности обрабатываемого металла, то, конечно, для оценки предельного значения e_i следует использовать формулу (23) при $\rho = r$, так как именно с поверхности ($\rho = r$, то есть при $\gamma = \gamma_{max}$) начинает распространяться трещина, а для оценки энергоемкости процесса КД – формулу (26).

Для условий деформации коротких образцов $d/h \geq 2$ и сравнительно небольших значений параметра i ($i \leq 10$) второе слагаемое под корнем в уравнении (21) значительно больше 1, поэтому можно приближенно записать

$$e_i \approx - \int_{h_0}^h \frac{1}{h} \sqrt{\frac{c}{h}} dh = 2\sqrt{c} \frac{\sqrt{h_0} - \sqrt{h}}{\sqrt{h h_0}}. \quad (27)$$

После подстановки в (27) значения c из (22)

$$e_i \approx 7,22 \frac{r_0}{i} \left(\sqrt{\frac{h_0}{h}} - 1 \right). \quad (28)$$

Накопленную деформацию при осадке с кручением, очевидно, можно представить в векторной форме:

$$\bar{e}_i = \bar{e} + \bar{\gamma}, \tag{29}$$

где модуль e определяется по формуле (5), а γ - по формуле (25). По модулю эта величина равна

$$e_i = \sqrt{e^2 + \gamma^2} = \sqrt{\left(\ln \frac{h_0}{h}\right)^2 + 4\pi^2 \frac{r_0^2}{i^2} \left(\sqrt{\frac{h_0}{h}} - 1\right)^2}. \tag{30}$$

В работе [9] для случая осадки с кручением длинномерных заготовок ($h_0/d_0 \geq 4$) для оценки величины накопленной деформации дается формула

$$e_i = \frac{1}{\nu} \ln \frac{h_0}{h} \sqrt{\nu^2 + \frac{1}{3} \dot{\varphi}^2 r^2}$$

или в удобной для нашего случая форме

$$e_i = \ln \frac{h_0}{h} \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 r^2}{3i^2}}. \tag{31}$$

Ее вывод, так же, как и формулы (23), производился на основе уравнений (14)...(16), но, очевидно, из-за малого соотношения d/h и малой деформации, величина r принималась постоянной.

Оценку интенсивности деформации при комбинированной осадке можно произвести, исходя из уравнения баланса энергии при условии отсутствия потерь на трение, т.е. при осадке без проскальзывания в тангенциальном направлении и при $\tau_p = 0$.

Считая, что средняя величина e_i эквивалентна сумме работ осевой силы P и работы крутящего момента M , напишем уравнение

$$\int_{h_0}^h P dh + \int_{\varphi_0}^{\varphi} M d\varphi = V e_i \sigma_i$$

или

$$\sigma_z V \ln \frac{h_0}{h} + \int_{\varphi_0}^{\varphi} M d\varphi = V e_i \sigma_i, \tag{32}$$

где σ_z — нормальное давление.

Крутящий момент при условии однозонной эпюры касательных напряжений $\tau_\varphi = f(\rho)$

$$M = \frac{\tau_\varphi \pi d^3}{12}. \tag{33}$$

После подстановок, аналогичных ранее использованным, преобразований и решения интеграла получим

$$\sigma_z V \ln \frac{h_0}{h} + V \sigma \frac{4\pi}{3\sqrt{3}} \frac{d_0}{i} \left(\sqrt{\frac{h_0}{h}} - 1\right) = V e_i \sigma_i$$

или

$$\sigma_z \ln \frac{h_0}{h} + \frac{\sigma 4\pi}{3\sqrt{3}} \frac{d_0}{i} \left(\sqrt{\frac{h_0}{h}} - 1\right) = e_i \sigma_i. \tag{34}$$

Полагая, что $\sigma_i \sim \sigma$, имеем среднюю степень e_i

$$e_i = \frac{\sigma_z}{\sigma_i} \ln \frac{h_0}{h} + 4,84 \frac{r_0}{i} \left(\sqrt{\frac{h_0}{h}} - 1\right).$$

Максимальная степень деформации (на периферии образца) с учетом (23) будет составлять

$$e_i = \frac{\sigma_z}{\sigma_i} \ln \frac{h_0}{h} + 6,72 \frac{r_0}{i} \left(\sqrt{\frac{h_0}{h}} - 1 \right). \quad (35)$$

Из уравнения пластичности, пренебрегая всеми компонентами напряжения кроме σ_z и $\tau_{\varphi z}$, следует

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_{\varphi z}^2}.$$

С учетом $\sigma_i \approx \sigma$; следует $\sigma = \tau_{\varphi z} \sqrt{3}$. Отсюда σ_z может изменяться от 0 до σ . Приняв среднее значение $\sigma_z = 0,5\sigma$, получим

$$e_i = 0,5 \ln \frac{h_0}{h} + 6,72 \frac{r_0}{i} \left(\sqrt{\frac{h_0}{h}} - 1 \right). \quad (36)$$

Грубую оценку правильности значений e_i , полученных из вышеприведенных формул, можно сделать, исходя из неравенства:

$$e_i' > e_i > e_i'', \quad (37)$$

где e_i' и e_i'' – пределы, в которых должно находиться значение e_i ;

$e_i' = \ln \frac{h_0}{h} + \frac{\varphi r}{\sqrt{3}h}$ – степень деформации при раздельном деформировании: осадка плюс кручение;

$e_i'' = \frac{\varphi r}{\sqrt{3}h_0} + \ln \frac{h_0}{h}$ – степень деформации при раздельном деформировании: кручение плюс осадка.

В качестве примера, взяв для комбинированной осадки образец с размерами $r_0 = 10$ мм, $h_0 = 20$ мм, при кинематическом параметре $i = 4$ мм/об ($n = 2$ об/мин, $v = 8$ мм/мин, $c = 1628$ – const, рассмотрим, как изменяется расчетная величина e_i при $\rho = r$ по мере уменьшения высоты h , вычисленная по вышеприведенным формулам (табл. 1).

Таблица 1

Расчетные значения e_i по различным формулам

h, мм	r, мм	φ , рад	$e = \ln \frac{h_0}{h}$	e_i по (23)	e_i по (28)	e_i по (30)	e_i по (31)	e_i по (36)	Диапазон		$\sqrt{e_i' e_i''}$
									e_i'	e_i''	
20	10	0	0	0	0	0	0	0			
16	11,2	6,28	0,22	2,15	2,14	1,87	2,24	2,09	2,76	2,03	2,37
12	12,9	12,57	0,51	5,27	5,27	4,6	5,99	5,12	8,31	4,14	5,86
8	15,81	18,85	0,916	10,53	10,53	9,17	13,14	10,22	22,42	6,36	11,94
6	18,27	22,0	1,20	14,95	14,97	13,03	19,91	14,46	39,88	7,55	17,35
4	22,36	25,13	1,61	22,36	22,41	19,48	32,68	21,56	82,71	8,86	27,07
2	31,62	28,3	2,3	39,1	39,2	34,0	66	37,44	260,6	10,47	52,23

Из табл. 1 видно, что формулы (23) и (28) дают почти одинаковые значения e_i , очень близкие к ним значения дает формула (36). По формуле (30) все получающиеся значения меньше, чем по формулам (23) и (28) на постоянную величину 1,15. Формула (31) дает, по сравнению с предыдущими, завышенные значения e_i , особенно при больших степенях деформации (66 против 39,1). Все значения e_i лежат в пределах $e_i' \dots e_i''$, но диапазон этот очень большой. Если взять значение $e_i = \sqrt{e_i' e_i''}$, то разница между e_i и таковыми значениями по формулам (23), (28) не будет более 10...30% в сторону превышения (см. последний столбец в таблице). Большие расхождения (30%) относятся к большим степеням деформации.

Таким образом, наиболее достоверными для данных геометрических и кинематических параметров процесса КД следует считать расчетные значения e_i , полученные по формулам (23), (28) и (36), из которых следует прямая зависимость e_i от числа оборотов. Из графика e_i от $e = \ln \frac{h_0}{h}$ (рис.1), построенного по данным таблицы, видно, насколько эффективен процесс комбинированной осадки без проскальзывания в тангенциальном направлении с точки зрения роста степени накопленной деформации по сравнению с осадкой обычной и другими способами деформации, например, прокатки. Например, степени деформации обычной осадки $e = \ln \frac{h_0}{h} = 2$ соответствует фактически e_i превышающаяся e в 15 раз. При больших значениях e эта разница будет еще больше. Согласно классификации [5] наноструктурный уровень можно получить при КД без проскальзывания инструмента по торцовым поверхностям образца уже при $e = \ln \frac{h}{h_0} = 0,51$ при угле закручивания $\varphi = 4\pi$. Следует заметить, что проскальзывание, приводя к нагреву образца, может привести к динамической рекристаллизации и росту зерна.

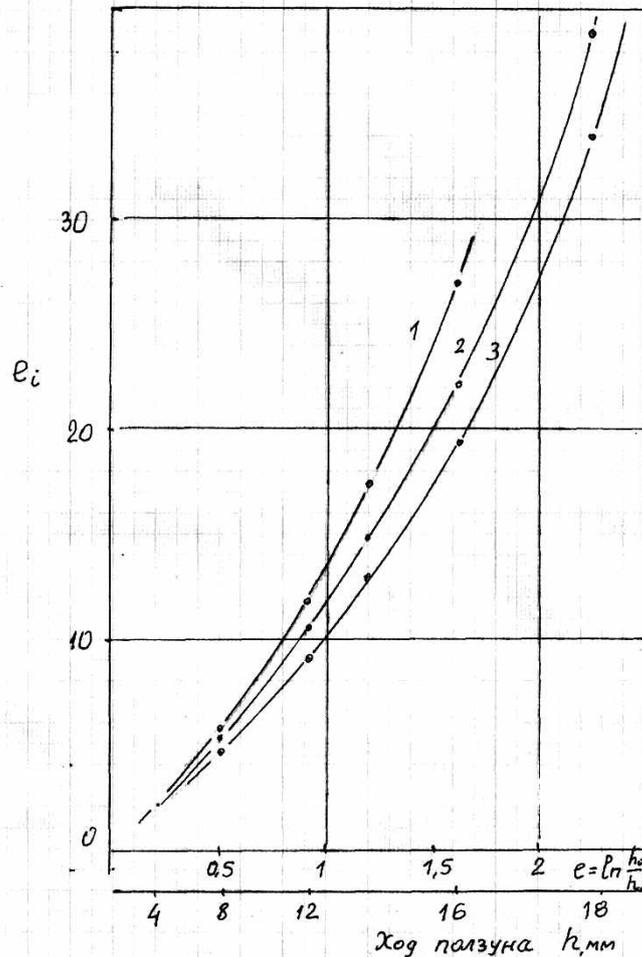


Рис. 1. Зависимость интенсивности деформации e_i от e_{oc} при комбинированной деформации образца $\sigma 20 \times 20$ при $i = 4$ мм/об; расчет по формулам: 1) $e_i = \sqrt{e'_i e''_i}$; 2) (23) и (28); 3) (30)

Библиографический список

1. **Шнейберг, А.М.** Экспериментальные исследования предельной пластичности при осадке без кручения и с кручением / А.М. Шнейберг, Ф.П. Михаленко, Д.А. Щербатов. – М., КШП и ОМД, 2012. № 1. С. 18–24.
2. **Владимиров, В.И.** Физическая теория пластичности и прочности. Конспект лекции в 2-х частях / В.И. Владимиров. – Л., 1975.
3. **Рыбин, В.В.** Большие пластические деформации и разрушение металлов / В.В. Рыбин. – М.: Metallurgy, 1986. – 224 с.
4. Структурные уровни пластической деформации и разрушения / В.Е. Панин [и др.]. – Новосибирск, Наука, 1990. – 225 с.
5. **Онищенко, А.К.** Интенсивная, мегапластическая и псевдопластическая (мезо) деформация. – М., КШП и ОМД, 2013. № 2. С. 16–21.
6. **Быков, В.М.** Фрагментирование и динамическая рекристаллизация в меди при больших и очень больших пластических деформациях / В.М. Быков [и др.] // ФММ. 1990. Т. 45. № 4. С. 163–169.
7. **Чувильдеев, В.Н.** О предельной прочности и пластичности / В.Н. Чувильдеев [и др.] // Тяжелое машиностроение. 2011. № 1. С. 2–12.
8. **Утяшев, Ф.З.** Связь между деформированным и структурным состоянием металла при интенсивной пластической деформации. – М., КШП и ОМД, 2011. № 5. С. 33–36.
9. **Хван, В.Д.** Устройство для осадки с кручением длинномерных цилиндрических заготовок / В.Д. Хван, А.А. Воропаев // Техника машиностроения. – Воронеж. 1999. № 3 (31).

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A. M. Schneiberg, F. P. Mikhailenko

CUMULATIVE DEFORMATION AT COMBINED UPSET-TORSION LOADING

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

A brief overview is given on the effect of large deformations on structures and properties of metals at pressure shaping. Formulae for calculating of a degree of cumulative deformation at combined upsetting are suggested.

Key words: scale and structure degrees of plastic deformation, structure evolution, combined deformation degree, linear and shearing deformation degree.

УДК.532.528:539.4

В.Ю. Шестоперов

РАЗРУШЕНИЕ И ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В КАВИТИРУЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Исследовано влияние напряженно-деформированного состояния элементов конструкций (одноосного и двухосного растяжения) на кавитационное разрушение материалов. Получены кривые их эрозии, показавшие различное влияние на кавитационное разрушение на разных периодах процесса. Представлены результаты оценки стойкости исследуемых конструкционных сплавов по предлагаемым критериям оценки в условиях одноосного и двухосного растяжения. Приведены соображения по учету случайного характера процесса кавитационного воздействия. Исследовано влияние кавитирующей жидкости на образование и докритический рост усталостных трещин на примере одного из конструкционных сплавов. Учет описанных в работе факторов для элементов конструкций, работающих в кавитирующей жидкости, позволяет более объективно оценивать их эрозионную стойкость и трещиностойкость.

Ключевые слова: кавитация, разрушение элементов конструкций, эрозионная стойкость, трещиностойкость, критерии оценки.

Элементы многих конструкций (движительно-рулевые комплексы и крыльевые устройства судов, детали насосов и т.п.) часто работают в экстремальных условиях, подвергаясь статическому и циклическому нагружениям, а также воздействию кавитирующей жидкости. При проектировании таких конструкций следует учитывать особенности их эксплуатации при оценке их усталостной трещиностойкости, долговечности и эрозионной стойкости в условиях кавитационного воздействия, а также случайный характер кавитационного процесса и напряженно-деформированное состояние (НДС) элемента конструкции.

Влияние НДС на эрозионную стойкость при кавитации. В работах [1,2] предложены критерии оценки стойкости материалов в условиях воздействия кавитирующей жидкости на стадиях образования и развития эрозионных повреждений и проведена их апробация на ряде материалов. При этом материалы построены в ряд эрозионной стойкости. Так на стадии развития кавитационной эрозии использован параметр $\bar{\delta}_M = \bar{\delta} / \rho_M$, где ρ_M - плотность материала, $\bar{\delta}$ определяется по формулам, соответственно, в период кавитационного упрочнения

$$\bar{\delta} = \frac{t_u}{V_u} \left[\frac{\alpha}{1-\alpha} + \frac{1}{1+\alpha} \left(\frac{t}{t_u} \right)^\alpha \right], \quad (1)$$

а в период кавитационного разупрочнения

$$\bar{\delta} = \frac{t_u}{V_u} \left[\frac{1+\alpha^2}{1-\alpha^2} \left(\frac{t_u}{t} \right) + \frac{k}{(1+k)(1-\alpha)} \left(1 - \frac{t_u}{t} \right) + \frac{1 - e^{-k_p(t-t_u)}}{k_p t (1-\alpha)(1+k)} \right] \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) α , k_p – коэффициенты запаса упрочнения и разупрочнения; k – коэффициент запаса сопротивления металла эрозии; t_u , V_u – соответственно продолжительность периода упрочнения и потери объема металла в конце его.

Влияние напряженно-деформированного состояния элемента конструкции на его эрозионную стойкость при кавитационном воздействии исследовалось на конструкционных сплавах АМг2Н и 12Х18Н10Т. Использовалась ультразвуковая кавитационная установка [3], в которую помещались нагрузочные устройства с установленными в них образцами из указанных выше сплавов. В образцах создавалось одноосное и двухосное растяжения. При этом

относительное перемещение захватов устройств осуществлялось на основе винтовой пары. По результатам испытаний построены кривые $\Delta M - t$ кавитационной эрозии (потерь массы во времени) (рис. 1) при различных гомологических напряжения σ_r .

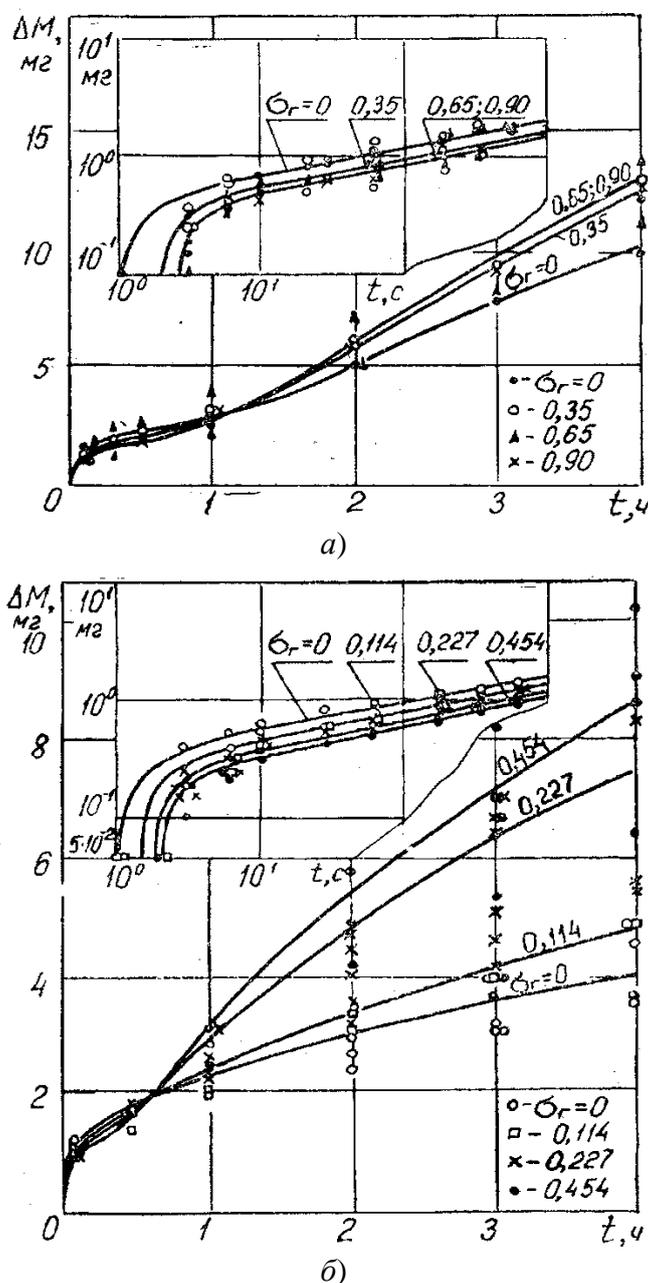


Рис. 1. Влияние НДС на кавитационную эрозию сплава АМг2Н:
а – одноосное растяжение; б – двухосное растяжение

Из рис. 1, 2 видно что влияние НДС различно на разных периодах кавитационной эрозии: в период упрочнения растяжение приводит к уменьшению потерь массы, а в период разупрочнения наоборот. С увеличением σ_r интенсивность влияния НДС уменьшается и, начиная с $\sigma_r \approx 0,5$ оно почти не сказывается. Для оценки эрозионной стойкости использовался параметр $\bar{\delta}_M$ и зависимости (1) и (2) для моментов времени $t=0,0278$ ч (период упрочнения) и $t=3$ ч (период разупрочнения). На рис. 3 показано изменение эрозионной стойкости сплава АМг2Н в зависимости от величины σ_r , из которого видно, что в период упрочнения стойкость увеличивается, а в

период разупрочнения уменьшается, когда глубокие эрозионные раковины служат концентраторами напряжений и растягивающие усилия играют негативную роль.

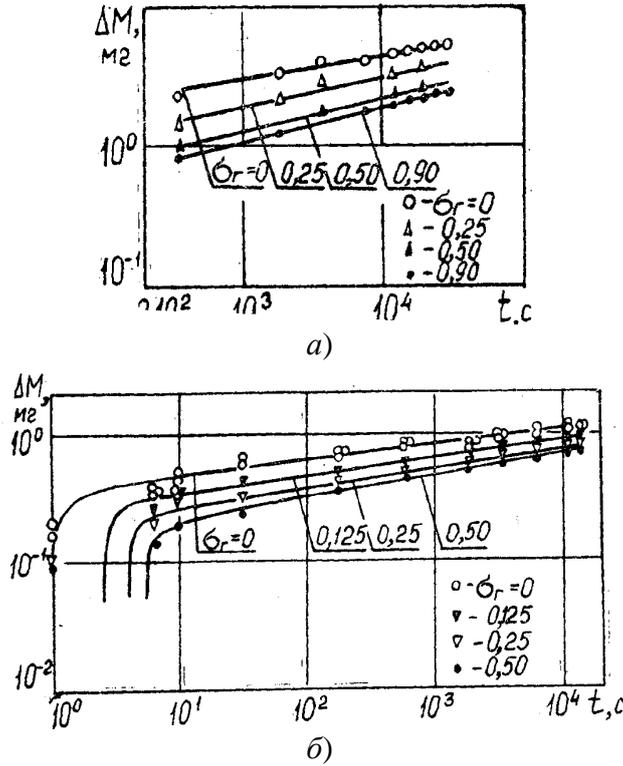


Рис. 2. Влияние НДС на кавитационную эрозию сплава 12X18H10T:
а – одноосное растяжение; б – двухосное растяжение

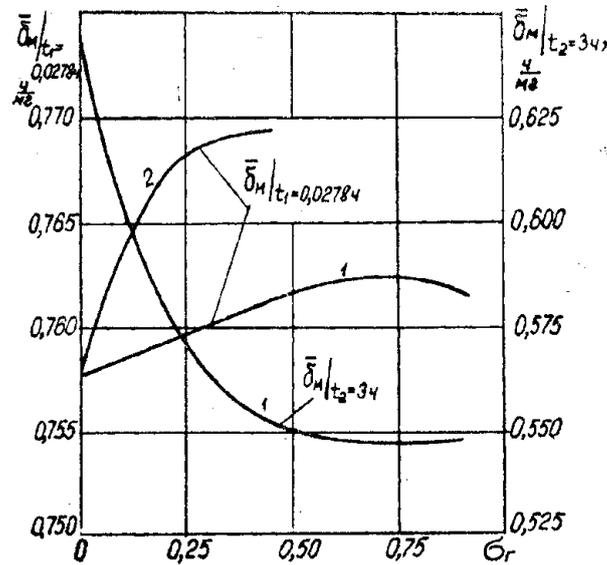


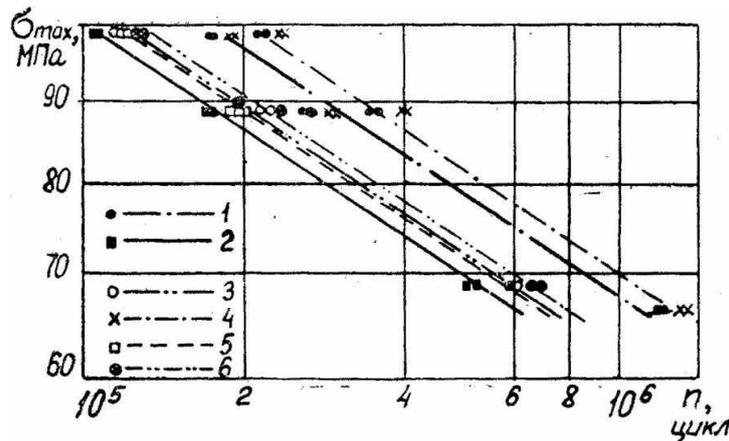
Рис. 3. Влияние НДС на эрозионную стойкость сплава AMg2H:
1 – одноосное растяжение; 2 – двухосное растяжение

Влияние случайного характера кавитационного воздействия. Описанные в работах [1, 2] модели кавитационной эрозии и критерии эрозионной стойкости построены в предположении детерминированного воздействия кавитационных пузырьков на поверхности металла. В действительности же этот процесс является случайным. Описывая закон распределения случайной величины давления p от схлопывания кавитационных пузырьков законом Рэлея, можно получить продолжительность инкубационного периода t^* при случайном процессе

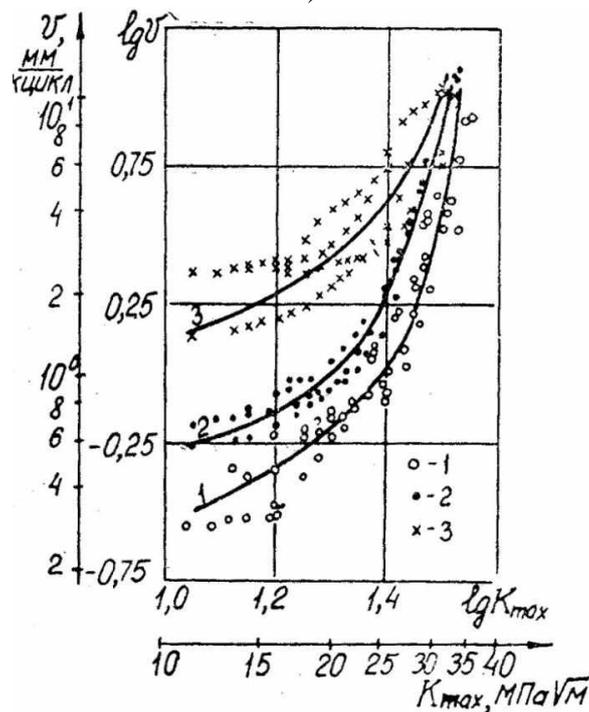
кавитационного воздействия. Так, например, в случае циклически разупрочняющегося материала он может быть определен по выражению

$$t^* = \tau \left\{ 1 + \frac{1}{s\beta} \ln \left[1 + s\beta \left(\frac{C_0}{\lambda_T^s \Phi(D_p)} - 1 \right) \right] \right\}, \quad (3)$$

где D_p – дисперсия давления; $F_t = \exp\beta(t/\tau - 1)$; β – коэффициент интенсивности циклического разрушения, τ – период схлопывания кавитационных пузырьков, C_0 – постоянная Л.Коффина, $\lambda_T=0,002$, s – постоянная материала.



а)



б)

Рис. 4. Влияние кавитации на усталостное разрушение сплава АМг61:

а – кривые усталости (образование трещин: 1 – на воздухе; 2 – в воде; 3 – при кавитации; разрушение образцов: 4 – на воздухе; 5 – в воде; 6 – при кавитации); б – кинетические диаграммы усталости (1 – на воздухе; 2 – в воде; 3 – при кавитации)

Влияние кавитации на усталостное разрушение элементов конструкций. Исследования по влиянию кавитирующей жидкости на образование и докритический рост усталостных трещин проведены на плоских образцах из сплава АМг61. Для этого использовалась ультразвуковая кавитационная установка, помещенная на нижнюю траверсу пульсатора

МУП-50, в захватах которого зажимался испытываемый образец, проходящий через рабочий резервуар с кавитирующей проточной водой. По результатам эксперимента построены кривые усталости σ_{\max} - n и кинетические диаграммы усталости ν - K_{\max} (рис. 4) (σ_{\max} – максимальное напряжение растяжения, n – число циклов до образования трещины и до разрушения образца, K_{\max} – коэффициент интенсивности напряжений). В результате анализа эксперимента установлено снижение усталостной прочности испытываемого сплава в проточной воде по сравнению с воздухом в 1,75 раза, обусловленное эффектом П.А. Ребиндера [4], а также повышение усталостной прочности при создании в воде кавитации на 13% по сравнению с некавитирующей жидкостью вследствие упрочнения поверхности образца от схлопывания кавитационных пузырьков (рис 4, а). Установлено, что скорость докритического роста усталостной трещины в кавитирующей воде возрастает по сравнению с некавитирующей в 2,5 раза, а в последней по сравнению с воздухом – в 1,5 раза (рис. 4, б).

Первое обстоятельство объясняется, по-видимому, интенсификацией коррозионной активности воды, а второе – электрохимическими процессами в вершине трещины усталости.

Таким образом, в работе рассмотрены влияние НДС на эрозию и стойкость, а также кавитации на усталостное разрушение элементов конструкций. Дальнейшее комплексное исследование процессов эрозии и усталостного разрушения позволит успешно решить вопросы проектирования элементов конструкций, работающих в кавитирующей жидкости.

Библиографический список

1. **Волков, В.М.** Сопротивление элементов металлических конструкций кавитационному разрушению / В.М. Волков, В.Ю. Шестоперов / Прикладные проблемы прочности и пластичности. Алгоритмизация и автоматизация решения задач упругости и пластичности. Всесоюз. межвуз. сб. / Горьковский университет. Горький, 1982. С. 51–59.
2. **Шестоперов, В.Ю.** Кавитационное разрушение материалов и критерии оценки их эрозионной стойкости // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2013. №5 (102). С. 79–83.
3. **Шестоперов, В.Ю.** Экспериментальное исследование кавитационной эрозии судостроительных материалов // Теория и прочность ледокольного корабля; Горьковский политехнический институт. – Горький, 1980. С. 57–60.
4. **Волков, В.М.** Механические свойства материалов: учеб. пособие / В.М. Волков; Горьковский политехнический институт. – Горький, 1973. – 130 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

V. Yu. Shestoporov

DAMAGE (FAILURE) AND EVALUATION OF DURABILITY OF CONSTRUCTIVE ELEMENTS OPERATING IN CAVITATING LIQUIDS

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

The influence of stress-strain state of constructive elements (uniaxial and biaxial tension) on cavitation failure of the materials is studied. Their erosion curves are drawn showing different effect on the cavitation failure at different stages of the process. The results of evaluation of structural alloys strength being examined are presented basing on the suggested evaluation criteria in uniaxial and biaxial tension conditions. Considerations are brought in concerning the random nature of the cavitation effect process. The influence of the cavitation liquid on forming and undercritical development of fatigue cracks by the example of one of structural alloys is studied. Records of the factors described in this research for the constructive elements, operating in a cavitating liquid, allow evaluating their resistance to erosion and cracking in a more objective manner.

Key words: cavitation, failure (damage) of constructive elements, erosion strength (resistance), cracking strength, evaluation criteria.

УДК 621.791.14

С.Ю. Смоленский, В.Г. Поднозов

ФОРМИРОВАНИЕ Т-ОБРАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены основные результаты исследований формирования сварных соединений при конвенциональной сварке трением деталей разных сечений. Установлен ряд особенностей формирования Т-образных соединений, связанных с асимметрией температурного поля в деталях и перемещением поверхности трения в процессе сварки, и влияние их на качество полученных сварных соединений. Приведены результаты исследований основных параметров процесса сварки на внешний вид, макроструктуру соединения, профиль поверхности трения, ее расположение при сварке. Исследование установило оптимальные параметры режима сварки, определяющие условия формирования качественных сварных соединений стержень-фланец из прецизионного сплава 36НХТЮ (ЭИ-702). Даны рекомендации по сварке трением деталей разных сечений при отсутствии подготовки торцевой поверхности массивной детали.

Ключевые слова: стержень, фланец, сварка трением, формирование, соединение.

В производстве часто возникает необходимость сварки деталей разного сечения, при этом главной особенностью процесса сварки трением является асимметрия температурного поля в деталях вследствие различия теплопередачи в детали от поверхности трения [1]. Асимметрия температурного поля, различие градиентов температуры сказываются на протекании деформационных процессов, возникают явления, отличные от протекающих при сварке трением стержней равновеликого сечения.

С целью уменьшения асимметрии температурного поля, создания равных условий для протекания пластической деформации и обеспечения высокого качества соединений рекомендуется искусственно сводить задачу сварки асимметричного Т-образного соединения к сварке симметричного соединения путем соответствующей подготовки торцевой поверхности детали большего сечения, а также торцевать поверхность плоской детали в машине для сварки трением [1].

Однако этот вариант подготовки в ряде случаев на производстве создает определенные трудности, и в практике часто встречается необходимость сваривать детали в условиях асимметричного соединения с использованием универсальных машин для сварки трением. В связи с этим представляет определенный практический интерес исследования особенностей процесса формирования Т-соединений, разработки технологии сварки, обеспечивающей получение качественных соединений.

Исследование производилось при конвенциональной сварке трением заготовок стержень (диаметром 16 мм) + фланец (диаметром 60 мм) из прецизионного дисперсионно-твердеющего железоникелевого сплава с высокими свойствами упругости 36НХТЮ (ЭИ-702) [2].

Сварка выполнялась на универсальной машине сварки трением МСТ-23 на режимах с применением ступенчатого цикла приложения давления (с повышением давления при проковке).

В процессе выполнения экспериментов переменными параметрами являлись время нагрева (t_n) в интервале 6-36 с и давление нагрева (p_n) в интервале 60-120 МПа при постоянном давлении проковки ($p_{пр}$) 200 МПа и частоте вращения (n) 25 с⁻¹.

Образцы полученных сварных соединений (рис. 1) использовались для проведения визуального и измерительного контроля (ВИК) и металлографических исследований на

макроструктуру. При этом критериями оценки качества являлись прочностные характеристики соединений.

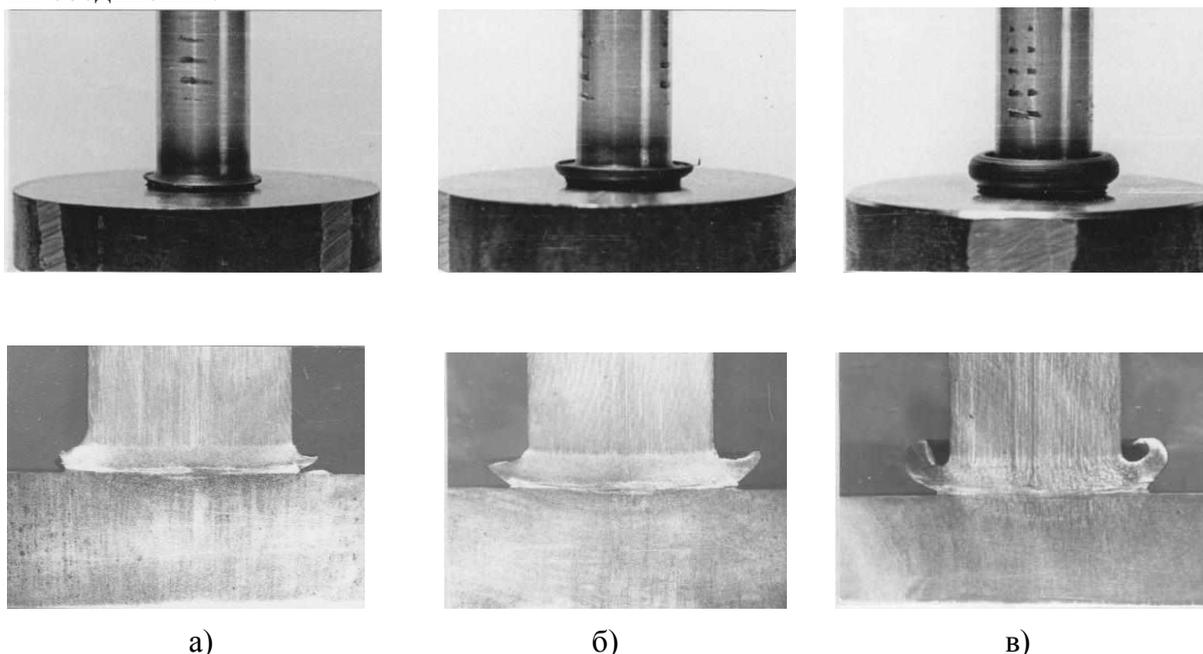


Рис. 1. Внешний вид и макроструктура сварных соединений, полученных с различной длительностью времени нагрева:
a – 6 с; *б* – 14 с; *в* – 24 с ($P_n=100$ МПа)

Исследованиями выявлено, что примерно через 3-4 с после начала нагрева и достаточного прогрева торцевой поверхности стержня и получения способности ее к деформированию между массивной деталью (большого диаметра) и торцом стержня образуется промежуточный слой (прослойка) и происходит «отслоение» воротника грата от поверхности массивной детали. Толщина слоя увеличивается с увеличением времени нагрева, одновременно наблюдается увеличение размеров воротника грата вследствие пластической деформации нагретого металла стержня. Массивная деталь (фланец) в зоне соединения не деформируется. К увеличению толщины прослойки (рис. 2) приводит также уменьшение величины давления нагрева при постоянстве остальных параметров процесса.

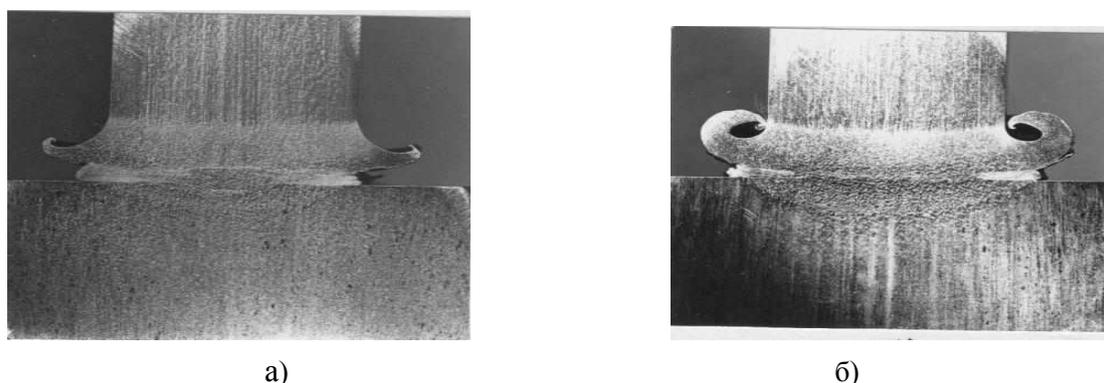


Рис.2. Макроструктура соединений, полученных при различном давлении нагрева:
a – 60 МПа; *б* – 120 МПа ($t_n = 24$ с)

Образование прослойки связано с постепенным переносом металла стержня на поверхность массивного контртела в процессе трения. Вследствие меньшего градиента температуры и более низкого уровня механических свойств более прогретого металла стержня в

нем происходит процесс глубинного вырывания частиц металла, сопровождаемый интенсивным износом, тогда как со стороны массивного тела имеет место процесс полирования поверхности с минимальным его износом. Образуется тонкий слой перенесенного от стержня металла, приваренного к сопрягаемой поверхности контртела.

Таким образом, поверхность трения, совпадающая с граничной поверхностью металлов (деталей) в начале процесса, постепенно перемещается при сварке на стадии нагрева в сторону менее нагретой детали (стержня). На рис. 3 представлена схема формирования соединения при Т-образной сварке.

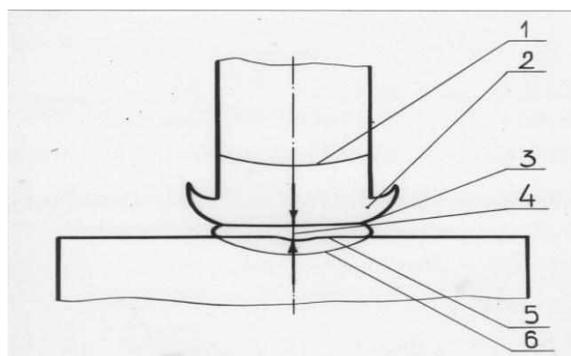
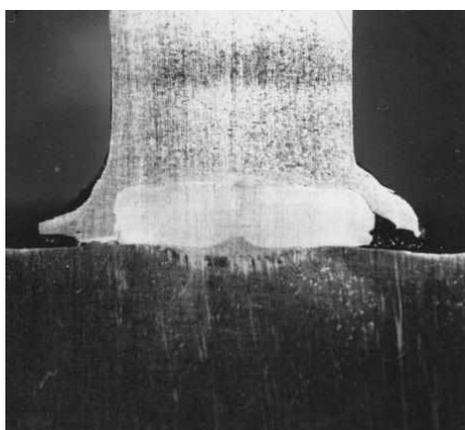


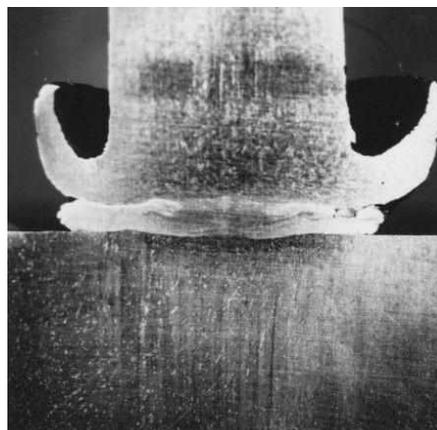
Рис.3. Схема формирования соединения при Т-образной сварке:

- 1 - граница ЗТВ стержня; 2 - грат; 3 - поверхность трения (вращения);
4 - величина перемещения; 5 - плоскость стыка (граничная поверхность металлов);
6 - граница ЗТВ массивного контртела (фланца)

Приложение давления на стадии проковки ($p_{пр}$) приводит к пластической деформации прослойки совместно с нагретыми слоями стержня. При этом уменьшается расстояние между поверхностью трения и граничной поверхностью металлов (величина перемещения), а сами поверхности становятся трудно идентифицировать. В связи с этим часть образцов подвергалась сварке с постоянным давлением $p_n = p_{пр}$, а также с прерыванием сварочного цикла на стадии нагрева через различные интервалы времени, т.е. образцы без прекращения вращения разводили, предотвращая протекания проковки и образования сварного соединения с последующим изготовлением макрошлифов и определением положения поверхности трения. В этих условиях поверхность трения и граничная поверхность металлов не подвергаются воздействию давления большего p_n , что способствует их четкому выявлению (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Макроструктура соединений, полученных при сварке с постоянным давлением:

$a - 45 \text{ МПа}; \quad b - 95 \text{ МПа} \quad (t_{\text{н}}=30 \text{ с})$

Установлено, что с увеличением давления нагрева величина перемещения поверхности трения становится меньше, изменяется и профиль поверхности (рис. 5).

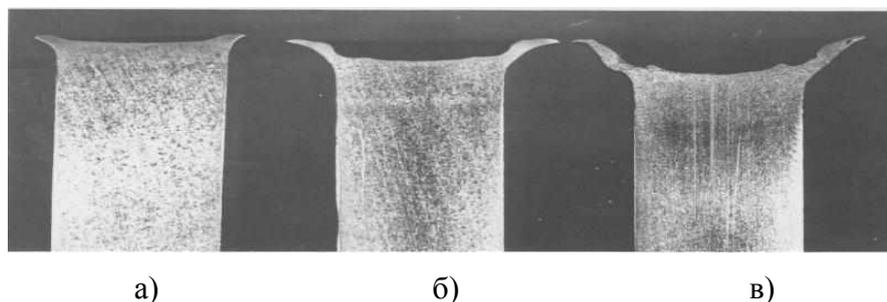


Рис. 5. Профиль поверхности трения (вращения) при различном времени нагрева:
 $a - 10 \text{ с}; \quad b - 30 \text{ с}; \quad v - 50 \text{ с} \quad (p_{\text{н}}=45 \text{ МПа})$

С увеличением длительности нагрева поверхность трения приобретает характерную куполообразную форму с вершиной в менее массивном стержне, а величина перемещения возрастает, постепенно приближаясь к предельному значению (рис. 6).

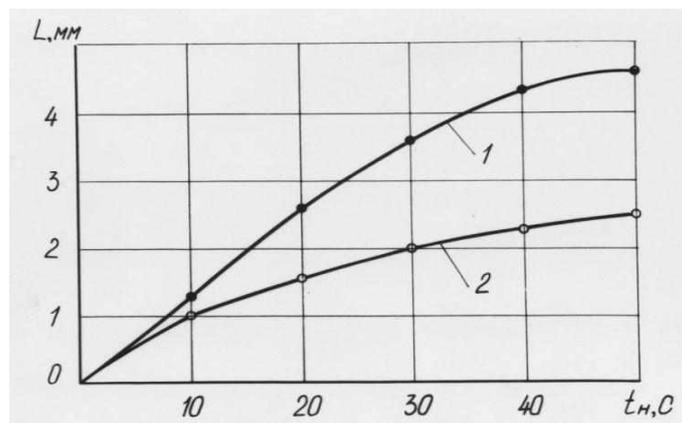


Рис. 6. Зависимость величины перемещения поверхности трения L от времени и давления нагрева:
 $1 - p_{\text{н}}=45 \text{ МПа}; \quad 2 - p_{\text{н}}=95 \text{ МПа}$

Процесс перемещения поверхности трения может быть описан следующей схемой (рис. 7). Как уже было отмечено, при сварке трением стержней разных диаметров температурное поле относительно поверхности трения в начале процесса будет асимметричным. Нагретые слои металла с наиболее высокой температурой относительно поверхности трения расположены со стороны менее массивного тела. При этом имеет место отрицательный градиент механических свойств по глубине от поверхности трения. Далее со стороны стержня большего диаметра слои металла, расположенные вне зоны поверхности трения и менее нагретые, затрудняют деформацию металла, т.е. со стороны менее массивного тела (стержня) имеет место меньшее сопротивление пластической деформации.

В результате поверхность трения (вращения), в начальный момент процесса сварки совпадающая с граничной поверхностью металлов (плоскость стыка), перемещается в сторону стержня меньшего диаметра (менее массивного) до момента устранения влияния массивного стержня и возникновения симметричного температурного поля.

Особенности сварки трением Т-образных соединений непосредственно отражаются на качестве соединений. Полученные результаты свидетельствуют, что при сварке на «мягких»

режимах с давлением нагрева (p_H), равным 60 МПа и менее, наблюдается кольцевой непровар по периферии сечения. Увеличение времени нагрева выше величины, характерной для начала процесса интенсивного отхода воротника грата от поверхности массивного стержня, практически не дает положительных результатов. Разрушение соединений при испытании на статическое растяжение происходит в зоне стыка по граничной поверхности металлов, при этом временное сопротивление ниже нормируемой величины для сплава 36НХТЮ (590- 690 МПа) в состоянии закалки [2].

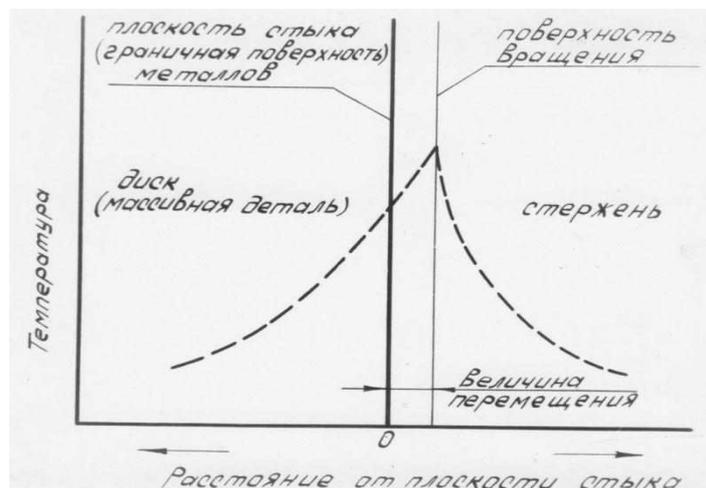


Рис. 7. Схема процесса перемещения поверхности трения (вращения) при сварке

Наличие кольцевого непровара даже при значительном времени нагрева (t_H) следует объяснить образованием первоначального тонкого слоя перенесенного металла на сопряженной поверхности массивного стержня. В дальнейшем перенос металла происходит на ранее образованный слой, не затрагивая зону сцепления (граничную поверхность металлов), образующуюся в начальный период сварки. Процесс сварки заканчивается образованием соединения между «наваренным» в процессе стадии нагрева слоем металла и менее массивным стержнем по поверхности трения.

В работе [1] рекомендуется производить сварку Т-образных соединений при давлении, как и в случаях сварки симметричных соединений. Однако более рациональным следует считать при сварке Т-образных соединений применение более жестких режимов нагрева с форсированным давлением нагрева 100-120 МПа. Увеличение давления нагрева на 15-20%, по сравнению со сваркой стержней равного сечения, позволяет интенсифицировать протекающие термомодеформационные процессы на стадии нагрева.

Увеличение давления нагрева приводит к более интенсивному образованию грата в начальный период сварки, что способствует смещению зоны низких нормальных давлений за пределы исходного сечения стержня меньшего диаметра в грат, выравниванию эпюры нормальных давлений и увеличению поверхности трения. Соответственно возрастают размеры граничной поверхности металлов, по которой происходит образование соединения переносимого слоя металла стержня с контртелом.

Непровар практически исчезает, а прочность соединения возрастает. Так, увеличение давления с нагрева с 60 до 120 МПа обеспечило повышение временного сопротивления с 540 до 650 МПа и выход его на уровень нормируемых значений для закаленного сплава. Разрушение соединений происходит с вырывом металла массивного тела.

Полученные результаты позволили оптимизировать сварку трением Т-образных соединений и подтвердили возможность реализации данной технологии при сварке дисперсионно-твердеющих сплавов.

Библиографический список

1. Вилль, В.И. Сварка металлов трением / В.И. Вилль. – Л.: Машиностроение, 1970. – 176 с.
2. Прецизионные сплавы: справочник / под ред. Б.В. Молотилова. – М.: Металлургия, 1983. – 439 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

S. Smolenskiy, V. Podnozov

T JOINTS FORMING UNDER SPIN WELDING

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: This Article covers the key findings related to the process of forming of weld joints under conventional spin welding of parts of different cross-sections.

Findings: A number of specific features of T-joints forming has been established, that are related to temperature field asymmetry in parts, movement of friction surface while welding, as well as common quality impact on the weld joints produced. The Article cites the research results concerning the basic welding parameters regarding their impact on the joint layout, macrostructure, friction surface profile and its position while welding.

Originality/value: The study determines the optimal welding condition parameters, as well as governing conditions of forming of high quality weld joints of rod and flange made of precision alloy 36НХТЮ (ЭИ-702). The study also gives recommendations for spin welding of parts of different cross-sections without pretreatment of the solid part butt end.

Key words: rod, flange, spin welding, forming, joint.

УДК 621.865.14

Ю.Н. Вавилов, И.Ю. Скобелева

ГРУЗОЗАХВАТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕЧЕЙ МОЛИРОВАНИЯ СТЕКЛА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрена новая конструкция грузозахватного устройства манипулятора, предназначенного для закрепления лобовых стекол больших размеров для автомобилей и автобусов в процессе молирования. Устройство позволяет захватывать как прямое стекло в пачке (стекло-пленка-стекло) до молирования, так и гнутое стекло после молирования, а также устанавливать стекло на транспортную тележку. Рассмотрена кинематика устройства и представлена его компоновочная схема.

Ключевые слова: грузозахватное устройство, печь молирования, манипулятор, лобовое стекло, точки соприкосновения, самоустановка, степень подвижности, полукрестовина Гука, кинематическая схема, компоновочная схема.

В настоящее время ветровые стекла больших размеров для автобусов и грузовых автомобилей загружаются в печи молирования вручную. При этом обычно работает четыре оператора, каждый из которых должен осторожно захватывать пальцами стекло таким образом, чтобы сила тяжести стекла распределялась равномерно между всеми операторами. Затем осуществляются операции транспортировки и загрузки-выгрузки.

Ручная загрузка печей имеет следующие недостатки:

- низкая производительность труда;
- увеличенные габариты контейнера печи, в котором находится рамка формирования геометрии стекла, и соответственно, увеличенные размеры всей печи;
- снижение КПД печи за счет потерь тепловой энергии;
- повышенную опасность работы операторов, поскольку бывают случаи разрушения разогретого стекла в руках операторов.

Для устранения перечисленных недостатков авторами было разработано специальное грузозахватное устройство для закрепления стекол больших размеров в пачке (стекло-пленка-стекло) [1], которое прикрепляется к стандартному манипулятору или кран-балке. Новое техническое решение позволило заменить четырех операторов одним.

На рис. 1 представлена схема расположения точек соприкосновения зацепов 1 нового грузозахватного устройства по отношению к стеклу 2, искривленному в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Для обеспечения соприкосновения по восьми точкам каждый зацеп должен поворачиваться в двух плоскостях: в плоскости XOZ на угол φ_i и в плоскости XOY на угол α_i . Поворот в плоскости ZOY не требуется, поскольку стекло в этой плоскости самоустанавливается по двум точкам при любой кривизне стекла.

Таким образом, поворот зацепов осуществляется в точках A , B , C и D , лежащих в одной плоскости (плоскости XOY), что противоречит теории базирования, следовательно, две точки из четырех должны быть самоустанавливающимися, то есть новое грузозахватное устройство должно иметь девять степеней подвижности, чтобы обеспечить соприкосновение со стеклом при любой его кривизне. В соответствии со схемой расположения точек соприкосновения была разработана кинематическая схема грузозахватного устройства с девятью степенями подвижности (рис. 2).

На рис. 2 показаны зацепы 1, шарнирно соединенные с полукрестовиной Гука 2, которая подвижно связана с поперечиной 3. Поперечина 3 подвижно соединена с корпусом 4 в

точке E , обеспечивая самоустановку точек B и C относительно базовой плоскости AED , принадлежащей корпусу 4.

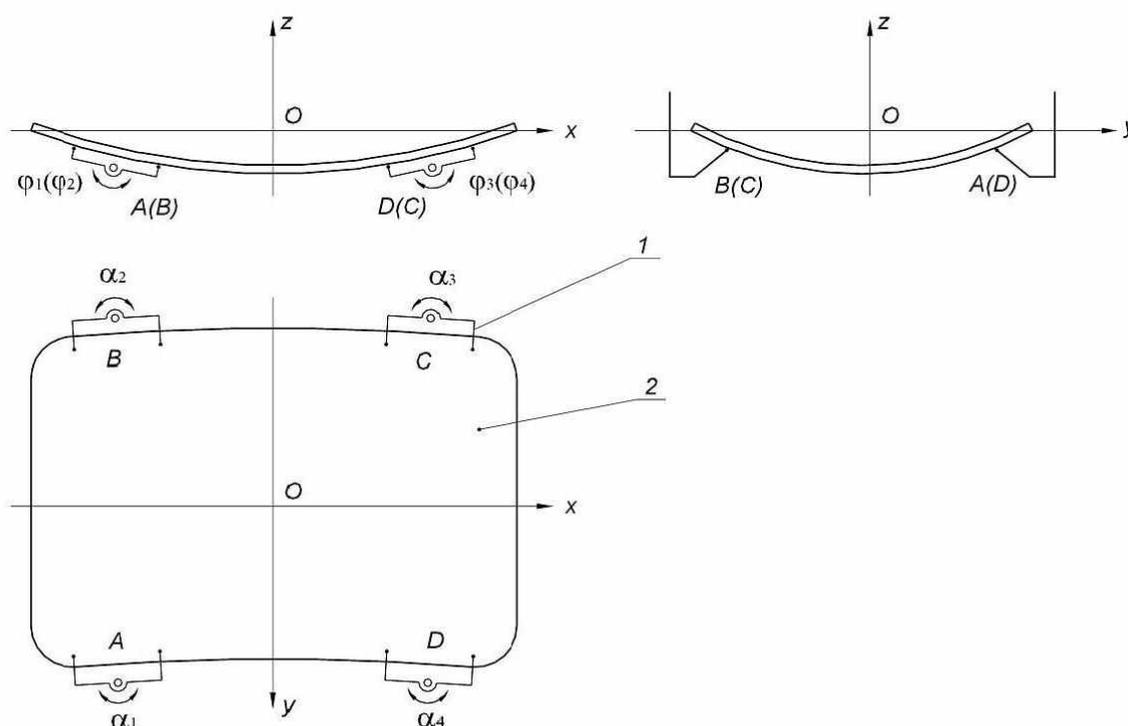


Рис. 1. Схема расположения точек соприкосновения

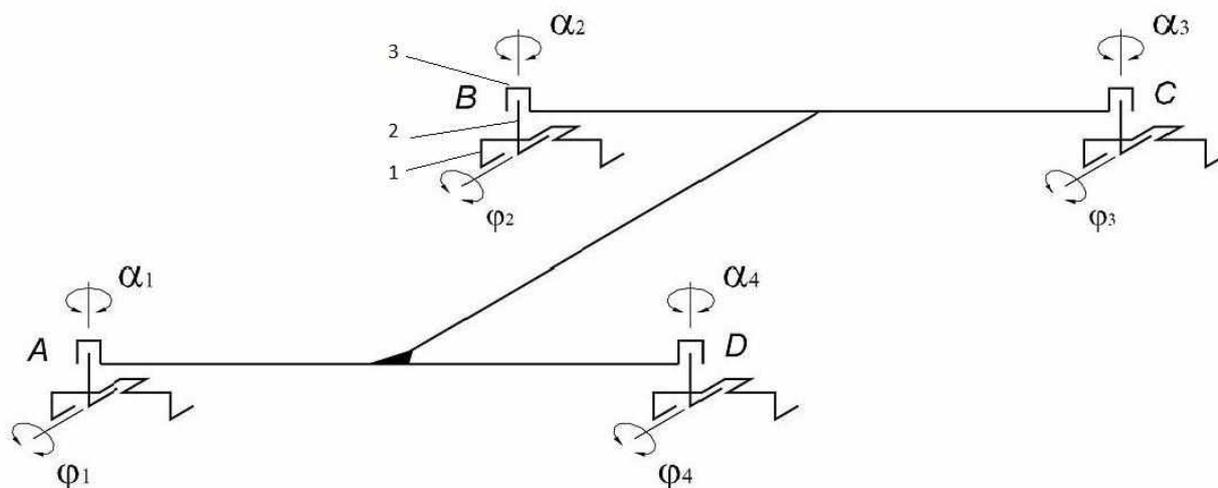


Рис. 2. Кинематическая схема грузозахватного устройства на восемь зацепов

По аналогии с кинематической схемой грузозахватного устройства на восемь зацепов была разработана кинематическая схема грузозахватного устройства на 12 зацепов для стекол больших размеров [1], которая показана на рис. 3.

В соответствии с рассмотренной кинематической схемой авторами было разработано и внедрено грузозахватное устройство для захвата стекол длиной L от 1200 до 2000 мм и шириной B от 1000 до 1800 мм, которое обеспечивает как захват плоского стекла до молирования, так и искривленного стекла после молирования. Компонировочная схема грузозахватного устройства показана на рис. 4. Функцию корпуса в устройстве выполняет прямоугольная труба 1, приваренная к правой поперечине 2. Внутри трубы 1 расположена внутренняя прямоугольная труба 3, которая шарнирно связана с левой поперечиной 4. Внутри трубы 3 находится гайка 5, которая через резьбу связана с ходовым винтом 6. Ходовой винт 6 вращается

относительно правой поперечины 2, образуя с ней шарнирно неподвижную опору. С правой стороны ходового винта находится рукоятка 7. К правой и левой поперечинам крепятся шарнирно четыре полукрестовины Гука 8, к которым также шарнирно прикреплены зацепы 9. К корпусу 1 приварена пластина 10 с отверстиями, необходимыми для того, чтобы перемещать ось 11 в центр тяжести грузозахватного устройства. Ось 11 крепится в реверсе 12, который опирается на амортизатор 13, связанный с обоймой 14.

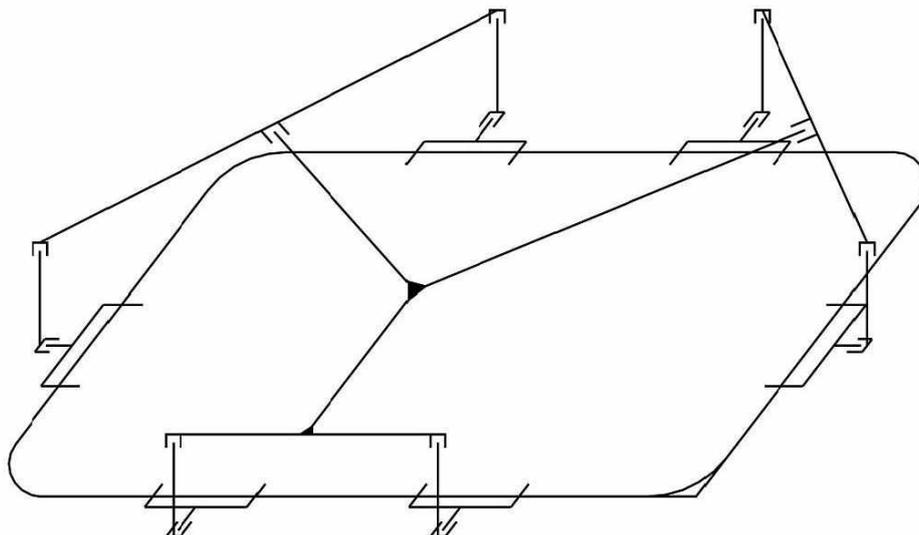


Рис. 3. Кинематическая схема грузозахватного устройства на двенадцать зацепов

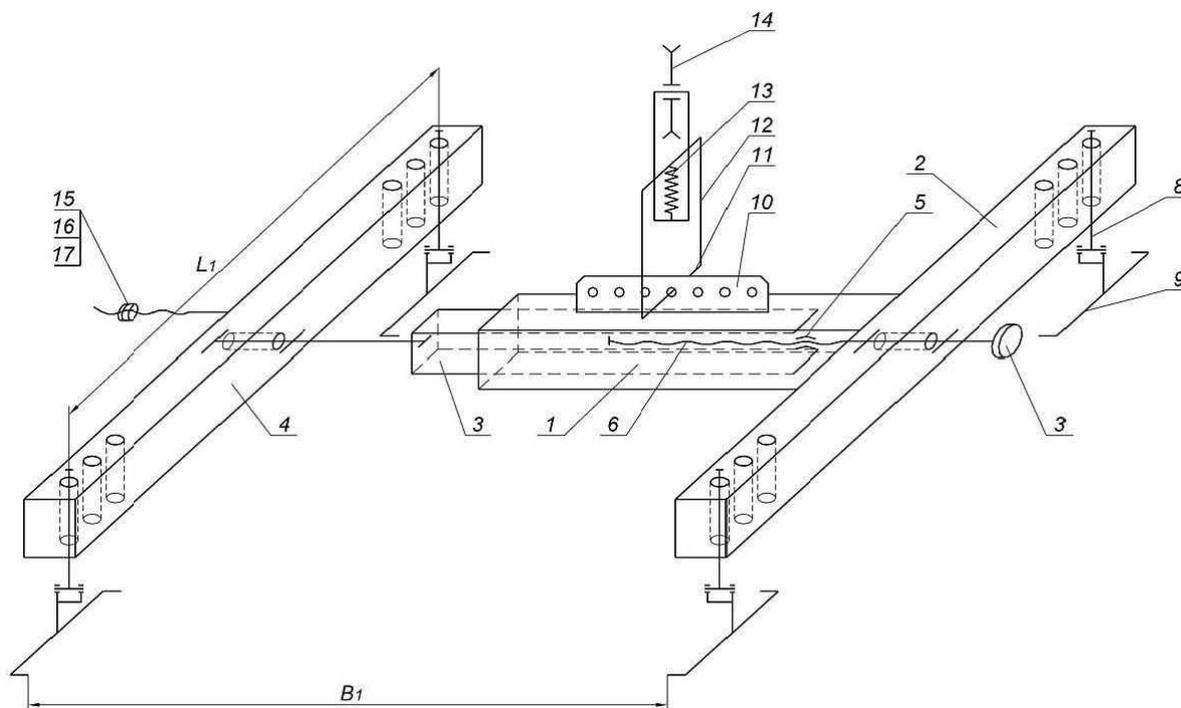


Рис. 4. Компонировочная схема грузозахватного устройства

Перед началом работы с грузозахватным устройством необходимо выполнить его регулировку на заданный размер $B \times L$. Для этого устройство через блок обоймы 14 подвешивают к манипулятору или кран-балке.

Регулировка устройства по длине стекла осуществляется путем перестановки полу-

крестовин Гука δ в вертикальных отверстиях левой и правой поперечин таким образом, чтобы сила тяжести стекла распределялась равномерно по всем точкам соприкосновения с зацепами 9. Регулировка устройства по ширине стекла B выполняется за счет изменения расстояния B_1 между зацепами левой и правой поперечин, для чего необходимо вращать рукоятку 7. При вращении рукоятки передача винт-гайка преобразует вращательное движение винта в поступательное движение внутренней трубы 3 относительно корпуса 1, при этом расстояние B_1 изменяется. Размер B_1 выбирают так, чтобы он был на 4...8 мм больше ширины стекла B . Поскольку при изменении размера B_1 центр тяжести устройства смещается вдоль прямоугольной трубы 1 и устройство отклоняется от горизонтального положения, необходимо ось 11 переместить в соответствующее отверстие в пластине 10, расположенное как можно ближе к центру тяжести устройства. Для того чтобы вернуть устройство в горизонтальное положение, в конструкции предусмотрен винт 15 с гайкой-балансиром 16 и контргайкой 17. Вращением гайки-балансира устройство выводится в горизонтальное положение, и гайка-балансир фиксируется контргайкой 17. На этом регулировка устройства завершается.

Далее устройство работает в соответствии с технологией молирования стекла. Грузозахватное устройство с помощью манипулятора или кран-балки перемещается из исходного положения к монтажному столу, на котором расположено прямое стекло. Механизм подъема опускает грузозахватное устройство так, чтобы зацепы 9 оказались ниже стекла. Вращением рукоятки 7 изменяют расстояние B_1 так, чтобы оно оказалось меньше ширины стекла B . Затем манипулятор поднимает стекло и переносит его в контейнер печи молирования и опускает на рамку формирования геометрии стекла. Вращением рукоятки 7 зацепы 9 выводятся за габариты стекла и манипулятор выводит грузозахватное устройство из печи молирования в исходное положение. По окончании процесса молирования грузозахватное устройство закрепляет искривленное стекло и переносит его к транспортной тележке. Затем оператор поворачивает корпус 1 по часовой стрелке вокруг оси 11 на угол 70-80° и с помощью манипулятора устанавливает стекло на транспортную тележку. Освободив грузозахватное устройство от стекла, оператор возвращает его в исходное положение.

Эксплуатация нового грузозахватного устройства в течение года показала его надежную работу. Случаев разрушения стека, связанных с работой грузозахватного устройства, не отмечено.

Таким образом, новое грузозахватное устройство позволило механизировать процесс загрузки (выгрузки) печей молирования стекол больших размеров, при этом существенно повысилась производительность труда и безопасность работ.

Библиографический список

1. Свид. 24993 РФ/ Ю.Н. Вавилов [и др]. // Полезные модели. Промышленные образцы. 2002.
2. Свид. 39588 РФ/ Ю.Н. Вавилов [и др.] // Полезные модели. Промышленные образцы. 2004.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

Yu. N. Vavilov, I. Yu. Skobeleva

LOAD GRIPPER FOR GLASS-BENDING FURNACES

Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alexeev

A new load gripper construction of a handler meant for large-sized car and bus windcreens fixing during the bending process. The gripper allows gripping of straight glass in a pack (glass-film-glass) before bending, as well as curved glass after the bending process, and also mounting of the glass on a transporting trolley. The kinematics of the gripper is considered, and a layout scheme of the appliance is presented.

Key words: load gripper, glass bending furnace, handler, windscreen, contact points, self-placement, degree of freedom, Hooke semi-cross beam, kinematic scheme, layout scheme.

УДК 004.942

Д.П. Кирюшов, А.Р. Кварталов

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ AUTODESK INVENTOR 2015

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены улучшения Autodesk Inventor 2015 – мощной системы трехмерного параметрического проектирования и инженерного анализа. Модель, подготовленная в Inventor, представляет собой точный цифровой 3D-прототип изделия, с помощью которого можно проверять конструкцию в действии параллельно с ведением конструкторских работ. Применение цифровых прототипов для конструирования, визуализации и тестирования продукции обеспечивает эффективный обмен проектной информацией, сокращение количества ошибок, быстрый вывод инновационных изделий на рынок.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, Autodesk Inventor 2015, 3D-моделирование.

Изменения в новом Autodesk Inventor 2015 затронули в большей степени процесс моделирования, но изменения коснулись также и панели инструментов, и создания эскизов, кроме того, особое внимание было уделено инструментам обучения и освоения программы. Все изменения можно разделить на несколько тематических разделов.

Изменения в интерфейсе

Что касается общих изменений, то в Inventor 2015 несколько изменен дизайн иконки-заставки, а также изменены системные требования: теперь поддерживаются Windows 8 и Windows 8.1, а вот поддержка Windows XP прекращена.

Произошли некоторые изменения в интерфейсе: на старте приветствует новый элемент «Домой», пришедший на смену «Добро пожаловать». Страницу «Домой» можно открыть в любой момент с ленты или с панели быстрого доступа. Нельзя не отметить очень полезный инструмент – «Последние открытые», где ранее открывавшиеся файлы можно представить в разных режимах, отображать только сборки, детали или чертежи и пр.

Лента инструментов стала проще, часть команд с основных панелей перенесена на субпанели. Для управления ими введена кнопка «Показать панели», позволяющая получить доступ ко всем доступным для текущей ленты панелям. Появилась возможность в контекстном меню каждой команды выбрать размер кнопки, благодаря чему всегда можно вытащить спрятанные команды для удобного доступа к ним.

Моделирование деталей и сборок

Основной упор в разработке новой версии был сделан именно на процесс и инструменты моделирования:

- появилась возможность переименовывать плоскости прямо в дереве модели, при этом имя плоскости отображается в графической области;
- инструмент построения «Средней плоскости между двумя плоскостями» теперь работает и в среде моделирования деталей, и в среде сборок. Добавлена возможность построение между непараллельными плоскостями;
- по заверениям разработчиков сильным изменениям подверглись инструменты «Проецирование на поверхность» и «Рельеф», благодаря чему эти операции выполняются в 50 раз быстрее, чем в предыдущих версиях, а файлы с моделями уменьшились в размерах до семи раз;
- появились инструменты для работы со свободными формами и команды непосредственного редактирования тел.

Для работы со свободными формами добавлены 14 новых команд, находящихся на

ленте «3D-модель» на панели «Свободные формы». Для создания модели «Ящик» необходимо указать плоскость, точку на плоскости, габаритные размеры, число сегментов в каждом измерении. Редактирование формы позволяет проводить любые возможные манипуляции с каждой отдельной гранью тела, т.е. построение тела сходно с лепкой нужной формы из куска пластилина (рис. 1).

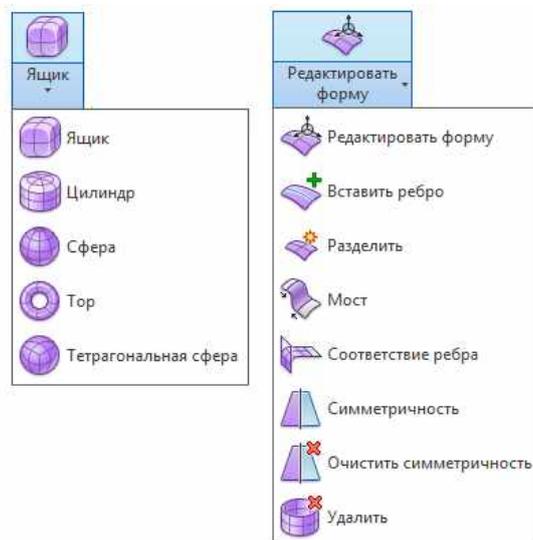


Рис. 1. Команды построения и редактирования свободной формы

На панели «Изменить» появился новый инструмент «Преобразование», который позволяет:

- оперативно отредактировать геометрию сложной модели, без необходимости вникать в ее структуру и параметры;
- отредактировать импортированную геометрию;
- легко изменить только необходимые элементы, избегая случайного изменения вследствие наличия сложных связей;
- быстро смоделировать несколько возможных вариантов геометрии.

Все операции непосредственного редактирования отображаются в дереве модели как отдельные элементы.

Следует отметить, что построение параметрической модели стало удобнее: при выделении строки в таблице автоматически подсвечиваются все элементы, связанные с этой записью. В таблице «Параметры» появилась кнопка «Удалить неиспользуемые элементы», которая удаляет из файла все неиспользуемые переменные, тем самым облегчая размер модели. Отредактирована операция «Сдвиг»: при создании тела появилась опция «Закручивание», которая позволяет закрутить профиль вокруг траектории сдвига.

В среде работы со сборками доступны новые команды в экспресс-режиме. По сравнению с Inventor 2013 количество операций, доступных в этом режиме, значительно выросло: «Создать компонент», «Сечение», «Создать/редактировать рабочие элементы», «Массивы компонентов», «Компонент копирования/зеркального отражения», «Облака точек». В новой версии данные для экспресс-режима позволяют быстрее генерировать виды на чертежах, а новые команды контекстного меню "Между двумя гранями" и "Смещение начала" упрощают создание соединений и обеспечивают новые возможности для этой процедуры.

Появились изменения в «Генераторе рам» - команда «Повторное использование», позволяющая выбрать исходный профиль и повторно использовать его, разрезав на первоначальное число одинаковых файлов. Но есть ограничение: данная команда доступна только для прямых элементов. Можно также изменить геометрию или данные размещения профиля, предназначенного для повторного использования.

Новый параметр «Учитывать параметры приложения для прозрачности» добавился в диалоговое окно «Настройки труб и трубопроводов». При выборе этого параметра настройки прозрачности сохраняются, как задано в диалоговом окне «Параметры приложения». Выбор этого параметра позволяет отображать сборку прозрачно, если это требуется, в другом случае сборка будет непрозрачной, что позволяет избежать визуальной путаницы при моделировании.

Эскизное построение

Новый «Режим отмены» может использоваться для редактирования геометрий и применения новых зависимостей для геометрий, для которых уже определены зависимости. При включенном «Режиме отмены» конфликтующие зависимости удаляются при добавлении новых зависимостей или размеров. Зависимости существующей модели можно свободно изменять путем перетаскивания выбранной геометрии эскиза даже в тех случаях, когда они уже имеют зависимости (рис. 2).

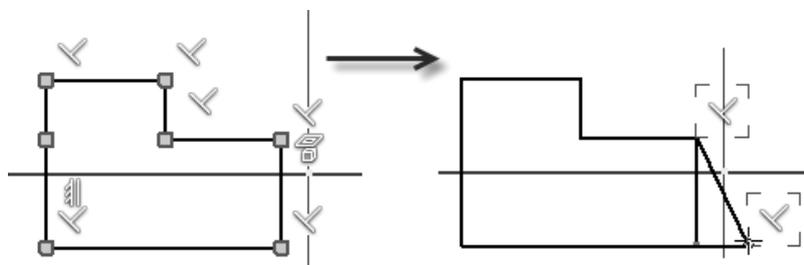


Рис. 2. Использование команды «Режим отмены»

Все настройки, касающиеся зависимостей 2D-эскизов, перегруппированы и объединены в одну новую команду «Настройки зависимостей». Новая настройка «Отображать зависимости при создании» предоставляет наглядную информацию о зависимостях при их создании. Новая настройка «Показать зависимости для выбранных объектов» выделяет зависимости для геометрии, выбранной в графическом окне. При создании геометрии эскиза конечные точки создаются при щелчке или нажатии кнопки мыши, а не при отпускании. Облегчено соединение конечных точек и закрытие замкнутых контуров эскиза. При создании эскизной геометрии с помощью команды «Смещение» сегменты отрезка, дуги автоматически удаляются сразу после достижения нулевой длины. В результате создаются неотраженные, или вырожденные сегменты геометрии, и можно использовать более широкие интервалы расстояний смещения (рис. 3).

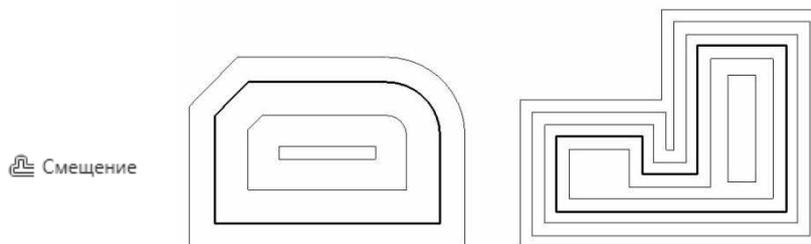


Рис. 3. Примеры работы с геометрией, созданной с помощью команды «Смещение»

Добавлена возможность захватывать мнимые точки между двумя элементами 2D-эскиза и производить автоматический захват виртуального формирования на кривой в 2D-эскизе. Существующие параметры формирования зависимостей для действительных пересекающихся элементов могут также применяться к виртуальным пересечениям.

Чертежи

Чертежи по сборкам, содержащим данные для экспресс-режима, в новой версии генерируются быстрее, при этом быстрее генерируются и точечные, и растровые виды. Новый параметр «Быстрое открытие» в диалоговом окне «Параметры открытия файла» позволяет быстро открывать нужные файлы. При выборе параметра «Быстрое открытие» не выполняется поиск или разрешение каких-либо файлов, на которые в чертеже есть ссылки. Это позволяет при открытии больших сборочных единицах в разы сократить время ожидания. Чертеж открывается так, как если бы в нем не было ссылок на файлы. Можно также вносить изменения и сохранять их.

Появилась функция «Укороченные размеры» для нанесения размеров на видах с половинным разрезом. Для этого следует запустить команду «Размеры», выбрать две контрольные линии или кромки, а затем щелкнуть правой кнопкой мыши для отображения меню. В списке типов размеров выбрать требуемый тип укороченных размеров и закрепить размер на чертеже.

Добавилась ссылка на ассоциативный лист вида чертежа в метках вида. Если виды в разрезе (сечение/детализация) были перемещены на другой лист, то теперь необходимый лист можно легко найти. Окно "Свойства метки вида" теперь содержит ИМЯ РОДИТЕЛЬСКОГО ЛИСТА и НОМЕР РОДИТЕЛЬСКОГО ЛИСТА. Значение строки обновляется при перемещении родительского вида на другой лист или при изменении имени или номера листа. Эти свойства активируются при добавлении или редактировании метки вида и выборе значений <ИМЯ РОДИТЕЛЬСКОГО ЛИСТА> и <НОМЕР РОДИТЕЛЬСКОГО ЛИСТА>.

Взаимодействие и обучение

Для работы с облаками точек добавлены несколько команд, например:

- «Диспетчер» - навигация и определение статуса видимости областей или мест сканирования в облаке точек. Иконка в виде лампочки позволяет включать/выключать отображение сканированных областей (при их наличии в облаке);
- «Плоскость облака» - создание плоскости конструирования, сформированной из набора точек в облаке точек.

В среде работы со сборками и прокладки кабелей появилась возможность использовать плагин AutoCAD Electrical для Inventor, который представляет из себя браузер, в котором трехмерные компоненты Inventor связаны с базой данных компонентов AutoCAD Electrical. При создании собственных компонентов есть возможность вручную назначить соответствие его параметров параметрам каталога AutoCAD Electrical. Новая версия Inventor позволяет импортировать модели в следующих различных форматах: CATIA V5 версия от R6 до V5-6R2013, Parasolid версия до 26.0, SolidWorks 2001-2014.

Стоит отметить, что в новой версии Autodesk Inventor разработчики уделили пристальное внимание инструментам обучения. Существующие интерактивные уроки и обучающие ролики теперь объединены в «Путь обучения». Путь состоит из этапов, на которых пользователь освоит работу с эскизами, деталями, сборками и чертежами. По мере продвижения по пути система будет отображать прогресс в обучении.

Выводы

Пользователям, планирующим переход на Autodesk Inventor 2015 придется отказаться от компьютеров под управлением Windows XP, провести их модернизацию, поскольку системные требования, в частности объем оперативной памяти, увеличены до 8 Гб. Изменения в интерфейсе логичны и полезны. Команды прямого редактирования геометрии значительно упрощают процесс проектирования изделий, при этом весь функционал параметрического моделирования остается на основе истории. Свободные формы позволят пользователям воплощать свои замыслы в привычной среде проектирования без использования сторонних программ. «Режим отмены» станет незаменимым при каждодневной работе. Новая версия

продукта поддерживает современные форматы для импорта-экспорта данных в другие программы САПР, а также плагин для совместной работы с AutoCAD Electrical, что значительно упрощает работу по разработке изделий, содержащих электрические элементы. Изменений в версии Autodesk Inventor 2015 не так много, если сравнивать с количеством изменений в 2014 версии, но эти улучшения существенны и будут чрезвычайно полезны пользователям при эксплуатации данного программного продукта.

Библиографический список

1. Autodesk Inventor 2015 Справка. – Режим доступа: <http://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2015/RUS/>
2. Блог Михайлова Андрея о приемах работы и хитростях в САПР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mikhailov-andrey-s.blogspot.ru>
3. What's New in Autodesk Inventor 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/>

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

D.P. Kiryushov, A. R. Kvartalov

NEW OPTIONS OF AUTODESK INVENTOR 2015

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

Improvements of Autodesk Inventor 2015 – a powerful system for 3D parametric design and engineering analysis are described. The model built with Inventor is an accurate digital 3D prototype of a detail, which can be used to control the construction in operation simultaneously with design work. The usage of digital prototypes for design, visualization and testing of the product ensures an effective interchange of the project information, reducing the number of mistakes and swift market launch of the product.

Key words: automated design system, Autodesk Inventor 2015, 3D modeling.

УДК 621.791.754

П.Л. Жилин¹, Б.П. Конищев¹, С.А. Лебедев²**ИССЛЕДОВАНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА СВАРКИ В CO₂ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ХОЛОДНОЙ ПРИСАДКОЙ**Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева¹,
ООО «Даниели Волга»²

Рассмотрены результаты исследования увеличения производительности и качества процесса сварки в CO₂ с дополнительной присадочной проволокой (далее ДПП), подающейся в хвостовую часть расплавленной ванны в холодном виде. Произведена оценка времени сварки при заполнении V-образной разделки неповоротного кольцевого стыка трубы толщиной диаметром 1420 мм. Особое внимание уделено увеличению производительности сварки за счет введения второй холодной ДПП и уменьшению сварочных деформаций. Для этого разработана модернизация сварочной установки с целью обеспечения подачи второй холодной проволоки, а так же выполнен подбор оптимальных скоростей подачи ДПП. Исследовалось влияние различных скоростей подачи для процесса автоматической дуговой сварки в защитном газе одной электродной проволокой с подачей в плавильное пространство ДПП. Исследовалось влияние ДПП на длину сварочной ванны. В итоге, сварочные деформации при использовании ДПП значительно ниже при лучшем внешнем виде сварного шва, при меньших потерях электродного металла и увеличении производительности.

Ключевые слова: полуавтоматическая сварка, сварка в среде CO₂, углеродистая сталь, дополнительная холодная проволока, сварка с дополнительной присадкой, оптимизация скорости подачи дополнительной присадки, увеличение качества шва, снижение сварочных деформаций, увеличение производительности сварки.

Введение

Основными целями современных учений нового тысячелетия является увеличение валового национального дохода страны, интенсивное развитие экономики, выпуск качественной конкурентоспособной продукции на мировом рынке. Для достижения этого необходимы рост производительности труда, снижение энергоемкости и металлоемкости производства, повышение качества и эффективности.

В различных отраслях экономики широко применяются высокопроизводительные энерго- и металлосберегающие технологии. В решении этих задач важная роль отводится дальнейшему совершенствованию сварочного производства.

В XXI веке анализ рынка оборудования для дуговой сварки плавлением, сложившегося на рубеже веков, показывает, что наиболее распространенным способом сварки в промышленности продолжает оставаться полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов (MIG/MAG-процесс). Полуавтоматическая сварка в среде защитного газа – наиболее универсальный и распространенный в промышленности метод сварки. Словосочетание «в углекислом газе», к которому привыкли многие специалисты, умышленно упущено, так как при этом методе все чаще используются многокомпонентные газовые смеси, в состав которых, помимо углекислого газа, могут входить аргон, кислород, гелий, азот и другие газы.

Применение стандартного оборудования, состоящего из унифицированных узлов (сварочная головка и полуавтомат, сварочный трактор и полуавтомат, два полуавтомата и т. д.) позволяет осуществить внедрение технологического процесса наплавки или сварки с минимальными капитальными затратами. Одновременно с повышением производительности труда сокращается число рабочих, повышается качество швов за счет уменьшения глубины проплавления и доли участия основного металла и применения комбинаций наплавочных материалов с различными свойствами, снижается расход электроэнергии, сокращается число наплавленных слоев, уменьшается пло-

щадь зоны термического влияния и тепло-вложение в основной металл в целом. Улучшается внешний вид швов и санитарно-гигиенические условия на рабочем месте.

Обзор литературных данных по исследованиям и разработкам различных аспектов технологических процессов с применением дополнительной присадочной проволоки (ДПП) показывает широкие возможности их применения в сварке плавлением и наплавке электрической дугой, плазмой и другими источниками тепла.

Анализируя изложенное, следует отметить, что широкое применение автоматической дуговой наплавки и сварки с бездуговой подачей дополнительной присадочной проволокой в промышленности отвечает поставленным наукой задачам, в частности, повышению производительности и качества труда при экономии энергоматериальных ресурсов и улучшении условий труда.

Метод сварки с дополнительной холодной присадочной проволокой характеризуется меньшим удельным тепловложением, по сравнению с обычными методами сварки, что приводит к улучшению термического цикла сварки. В результате улучшаются структура металла сварного соединения, условия кристаллизации и, в итоге, улучшаются механические свойства. Механические свойства зависят от химического состава и структуры металла. Химический состав металла шва можно регулировать путем изменения химического состава присадочного металла и изменения доли основного металла.

В данной работе представлены результаты исследований по увеличению производительности и качества процесса сварки в CO_2 с дополнительной холодной присадкой.

Сварка проводилась на пластинах размерами $100 \times 60 \times 10$ с V-образной разделкой кромок, а также проводилась сварка на пластины без разделки кромок. Материалом заготовок является низкоуглеродистая конструкционная сталь Ст3 сп.

Как правило, при сварке таких материалов применяют сварку в среде защитных газов, позволяющую сравнительно просто механизировать и автоматизировать процесс соединения металлов, который находит в последние годы широкое и все возрастающее применение во всех промышленно развитых странах мира [2].

Для сварки пластин применяется универсальная установка для автоматической сварки АДС-1 научно-производственного предприятия «ТехноТрон».

Установка предназначена для автоматической сварки стальных листов: стыковых и угловых швов в нижнем положении проволоками сплошного сечения и порошковыми проволоками в среде защитных, активных газов и их смесей.

Для сварки встык пластин с V-образной разделкой кромок использовали автоматическую сварку в среде защитного газа CO_2 проволокой сплошного сечения Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. В качестве дополнительной холодной присадки применяли такую же проволоку.

Схема процесса сварки в защитных газах с ДПП

Схема процесса сварки сплошной проволокой в защитном газе с ДПП, подающейся в хвостовую часть сварочной ванны представлена на рис. 1.

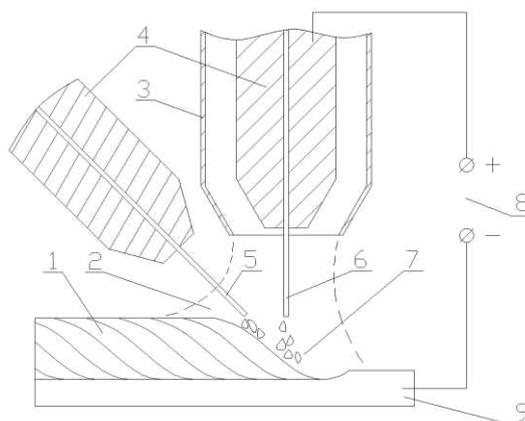


Рис. 1. Схема процесса сварки в защитных газах с ДПП:

1 – наплавленный застывший металл; 2 – защитная атмосфера; 3 – сопло; 4 – токовый наконечник; 5 – не токопроводящая электродная проволока; 6 – токопроводящая электродная проволока; 7 – сварочная ванна расплавленного металла; 8 – источник питания; 9 – наплавляемый металл

Что касается усовершенствования процесса сварки введением ДПП, то холодная проволока подавалась в сварочную ванну, расположенную позади основной токоведущей электродной проволоки. В этом случае она плавится в сварочной ванне. Решение в пользу подобного размещения устройства подачи холодной проволоки было принято на основании предварительных исследований. Оно позволяет выполнять более широкие швы с более четкой границей раздела с основным металлом. Увеличивается высота шва, а также положительно изменяется соотношение ширины и высоты сварного соединения.

Модернизация сварочной установки

Было разработано приспособление для подачи дополнительной холодной электродной проволоки в сварочную ванну, изображенное на рис. 2. Сопло 1 прикрепляется к универсальному автомату дуговой сварки АДС-1, через которое подается защитный газ и основная электродная проволока. Крепление 3 позволяет регулировать угол подачи дополнительной электродной проволоки в диапазоне 30-70° и имеет регулировочный болт 3. Между креплением и соплом имеется токоизолирующий материал асбест 2. Дополнительная холодная проволока подается через соединенные между собой токовый наконечник 4 с диффузором 5 и гибким кабелем 6. Для подачи дополнительной ДПП использовался механизм подачи проволоки МП-4.4 фирмы «Технотрон».



Рис. 2. Приспособление для подачи дополнительной холодной электродной проволоки в сварочную ванну

Если подача осуществляется в сварочную ванну вслед за электродом, легирующие элементы, которые бы в противном случае выгорели, могут вводиться в наплавляемый металл. Для обеспечения наплавления присадки необходимо особо внимательно следить за помещением холодной проволоки точно в сварочную ванну (а не область дуги). Этим достигается воспроизводимость последовательности технологических операций. Для обеспечения точного расположения следует обращать особое внимание:

- 1) на угол наклона холодной проволоки;
- 2) расстояние между проволочным электродом и холодной проволокой;
- 3) вылет дополнительно подающейся электродной проволоки.

Подача присадочной проволоки в хвостовую часть сварочной ванны, представленной на рис. 2, осуществлялась под углом 45° в хвостовую часть ванны.

Влияние количества вводимой ДПП на параметры сварного шва

Целью первых испытаний было определение влияния использования холодной проволоки на форму шва. В этих целях швы выполнялись с использованием холодной проволоки. Для этих исследований был введен коэффициент наплавления P , выражающий отношение массы холодной проволоки, подаваемой во время сварки к массе наплавленного электрода.

При использовании большего количества холодной проволоки возрастает высота и снижается глубина проплавления, ширина сварного шва уменьшается незначительно.

По экспериментальным данным была построена зависимость параметров сварного шва от количества коэффициента наплавления P , которая представлена на рис. 3. Сварка при этом проводилась на ровной пластине без разделки.

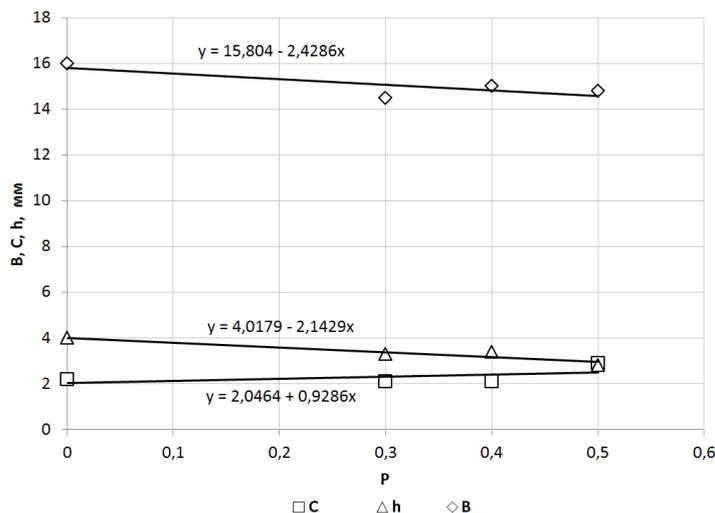


Рис. 3. Зависимость ширины шва B , высоты шва C и глубины проплавления от количества коэффициента наплавления P

При введении в сварочную ванну ДПП происходит уменьшение доли участия основного металла γ_0 (рис. 4).

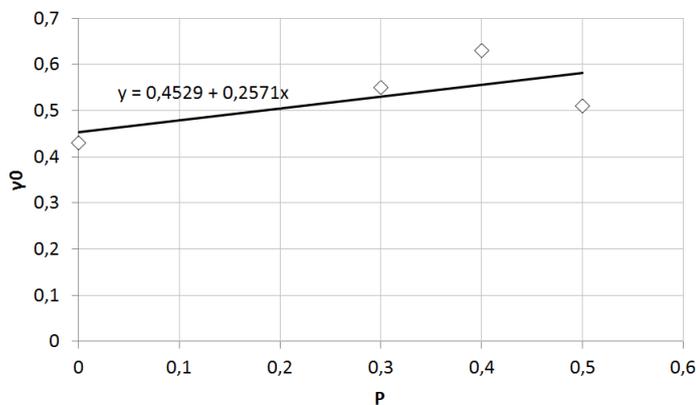


Рис. 4. Зависимость доли участия основного металла γ_0 от количества коэффициента наплавления P

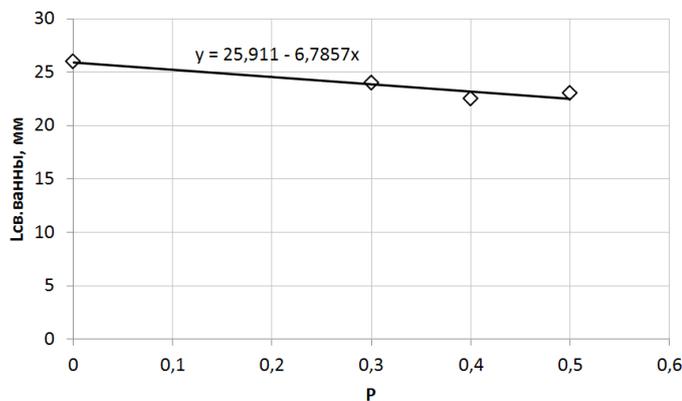


Рис. 5. Зависимость длины сварочной ванны L от количества коэффициента наплавления P

С введением ДПП в хвостовую часть ванны ее длина уменьшается. Данная зависимость представлена на рис. 5.

Увеличение производительности сварки за счет введения ДПП

Было произведено исследование по увеличению производительности сварки в V-образную разделку кромок стальных пластин из стали Ст3 сп, толщинами 10 мм. При введении ДПП в хвостовую часть сварочной ванны удается снизить количество заполняющих проходов с трех до двух, тем самым увеличив производительность сварки в 1,5 раза. Графически схема заполнения разделки представлена на рис. 6. Корневой шов в расчет не берется.

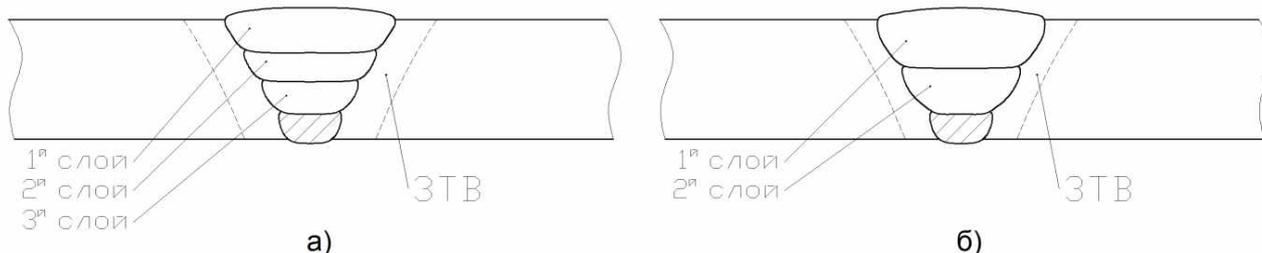


Рис. 6 Схема процесса сварки пластин:
а – одной электродной проволокой; б – с ДПП

Режимы, на которых проводилась сварка, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы сварки

	№ шва	$I_{св.}, A$	$U_{хх}, B$	$U_{раб}, B$	$V_{п.п.1}, м/мин$	$V_{п.п.2}, м/мин$	$V_{св.}, м/мин$	$V_{газа}, л/мин$	P	Колебания горелки, кол/с
Сварка одной проволокой	1	180	20	23	5	0	0,5	10 - 15	0	нет
	2	185	22	24	5	0	0,5	10 - 15	0	нет
	3	182	26	29	5	0	0,5	10 - 15	0	1
	4	190	26	28	5	0	0,2	10 - 15	0	1
Сварка одной проволокой с введением ДПП	1	180	20	23	5	0	0,5	10 - 15	0,5	нет
	2	180	29	26	5	2,5	0,4	10 - 15	0,5	1
	3	180	29	26	5	2,5	0,2	10 - 15	0,5	1

Влияние сварочных деформаций при сварке с ДПП

В результате местного (неравномерного) нагрева металла, обусловленного воздействием концентрированного источника теплоты, в сварной конструкции возникают временные и остаточные сварочные напряжения. Метод сварки с дополнительной холодной присадочной проволокой характеризуется меньшим удельным тепловложением по сравнению с обычными методами сварки, что приводит к улучшению термического цикла сварки, а также снижению сварочных деформаций.

На рис. 7 схематично изображены размеры угловой деформации стыкового сварного шва.

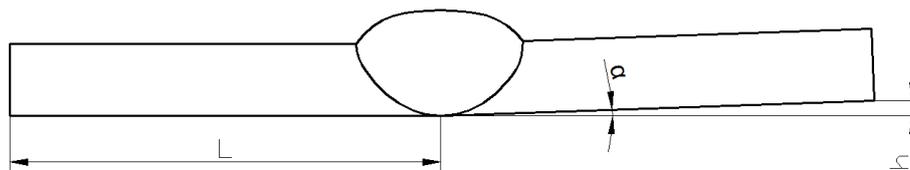


Рис. 7 Размеры угловой деформации стыкового сварного шва:

L – длина пластины; h – величина высоты деформации; α – величина угла деформации

Данные по деформациям пластины занесены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость сварочных деформаций пластины от величины P

Зависимость сварочных деформаций пластины от P							
Опыт 1 ($I=100A$)				Опыт 2 ($I=230A$)			
P	h , мм	L , мм	α , °	P	h , мм	L , мм	α , °
0	2,22	60	2,12	0	4,1	71,5	3,28
0,3	2,04	60	1,95	0,3	3,9	73	3,06
0,5	0,98	60	0,94	0,5	3,6	73	2,82

Полученная опытным путем зависимость сварочных деформаций α от P при различных значениях сварочных токов представлена на рис. 8.

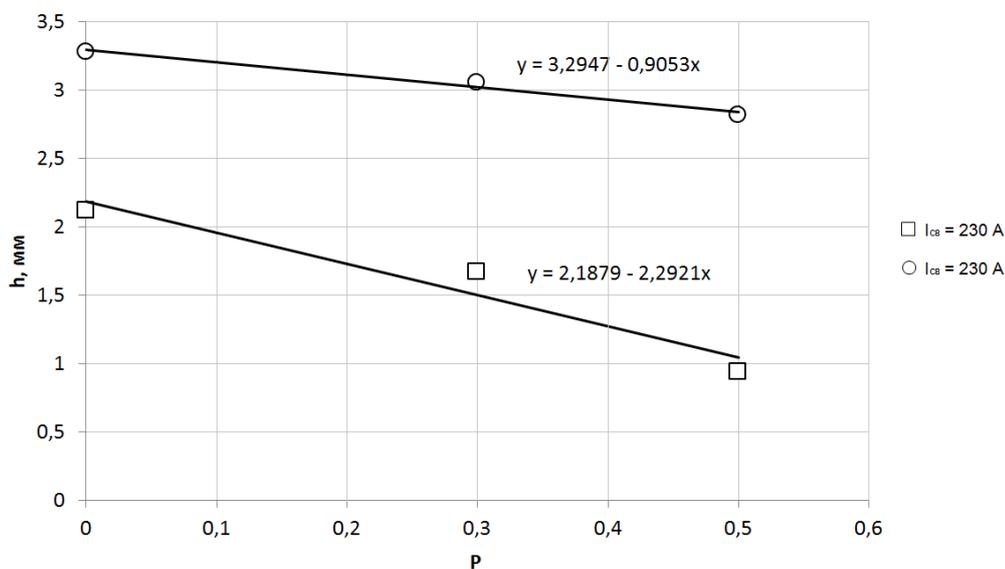


Рис. 8. Зависимость сварочных деформаций α от количества коэффициента наплавления P при различных параметрах сварочных токов

Таким образом, можно сделать вывод, что вводимая ДПП в хвостовую часть сварочной ванны холодная проволока существенно влияет на уменьшение сварочных деформаций. С введением ДПП в количестве $P=0,5$ деформации уменьшаются в среднем в 1,5 раза.

Выводы

В итоге проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Анализ полученных данных и их зависимостей показывает, что при неизменном основном режиме ($I_{св}=220A$, $U=37V$, $V_{п.п.1}=5$ м/мин):

- высота шва при введении ДПП в количестве $P=0,5$ увеличивается с 2,2 до 2,9 мм, изменение составляет 24,1%;
- глубина проплавления при введении ДПП в количестве $P=0,5$ уменьшается с 4,0 до 2,8 мм, изменение составляет 30%;
- ширина шва при введении ДПП в количестве $P=0,5$ уменьшается незначительно с 16,0 до 14,8 мм, изменение составляет 7,5%;
- доля участия основного металла при введении ДПП в количестве $P=0,5$ уменьшается с 0,57 до 0,49 мм, изменение составляет 15,7%.

Таким образом, с увеличением количества ДПП, подаваемой в хвостовую часть сварочной ванны, увеличивается высота шва. Уменьшаются глубина проплавления и длина сварочной ванны в связи с тем, что часть энергии тратится на расплавление ДПП. При этом ширина шва уменьшается незначительно. Также уменьшается доля участия основного металла.

2. Предложена модернизация сварочной установки для осуществления подачи ДПП в хвостовую часть ванны.

3. При введении ДПП в хвостовую часть сварочной ванны удается снизить количество заполняющих проходов с трех до двух, тем самым увеличив производительность сварки в 1,5 раза.

4. При введении ДПП в хвостовую часть сварочной ванны уменьшаются сварочные деформации в среднем в 1,5 раза.

Библиографический список

5. Сидорина И.И. Основы материаловедения / И.И. Сидорина. – М.: Машиностроение, 1976. – 436 с.
6. Новожилов Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в газах / Н.М. Новожилов. – М.: Машиностроение, 1979. – 239 с.
7. Ханапетов, М.В. Сварка конструкций с дополнительной порошкообразной присадкой / М.В. Ханапетов. – М.: Стройиздат, 1992. – 192 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

P. L. Zhilin¹, B. P. Konischev¹, S. A. Lebedev²

RESEARCH ON PRODUCTIVITY INCREASE AND QUALITY IMPROVEMENT OF CO₂-SHIELDED WELDING WITH AN ADDITIONAL COLD FILLER

The Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
ООО “Danieli Volga”²

This article deals with a research on productivity increase and quality improvement of CO₂-shielded welding with an additional filling wire (hereinafter additional filler), supplied cold to the tail unit of the molten bath. Welding time at filling of the V-groove of a nonrotatable circular pipe joint with diameter of 1420 mm was evaluated. Special attention was paid to the increase of the welding productivity by introducing of the second cold additional filler and the decrease of welding deformations. For this purpose the welding unit was upgraded (modernized) to allow the supply (feeding) of the second cold wire, and also a selection of rates optimal for additional filler feeding was effectuated. The effect of different feeding rates on the process of automatic gas-shielded arc welding with a single welding wire and an additional filler fed into the melting chamber was studied. A study of the effect of the additional filler on the molten bath length took place. As a result, welding deformations level is sufficiently lower and the configuration of the welded joint is better when using the additional filler; smaller loss of electrode metal and the productivity increase are observed.

Key words: semi-automatic (manual) welding, CO₂-shielded welding, carbon (simple) steel, additional cold wire, welding with an additional filler, additional filler feeding rates optimization, welded joint quality improvement, welding deformations decrease, welding productivity increase.

УДК 621.791.94

А.Р. Кварталов, А.А. Москвичев

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается возможность повышения производительности механической обработки в автоматизированном производстве путем использования предварительной наладки и подналадки режущего инструмента на размер. Показана возможность значительного сокращения простоев и повышения производительности металлообработки путем применения электромеханических беспроводных устройств автоматической размерной настройки инструмента при установке их непосредственно на станке вблизи зоны обработки. Предлагаются конструкция и описание принципа работы автоматического устройства для настройки инструмента, которое устанавливается на передней бабке токарного станка и снабжается беспроводным оптоэлектронным датчиком. Приводятся рекомендации по настройке устройства и модернизации программного обеспечения УЧПУ станка.

Ключевые слова: настройка инструмента, контроль износа, измерительное устройство, контактный датчик, мальтийский механизм.

Наиболее распространенным видом механической обработки деталей на металлорежущих станках является обработка на размер. Наладить инструмент на размер - это значит установить его режущую кромку в заданное положение относительно базы (начала отсчета размеров). Форма обрабатываемой поверхности определяется характером рабочих движений станка и положением режущей кромки инструмента, установленного на станке.

Одним из резервов повышения производительности станков является сокращение их простоев, связанных с наладкой и подналадкой инструмента на заданный размер. При механической обработке необходимо не только установить режущую кромку на заданный размер, но и поддерживать ее в пределах установленного поля допуска соответствующего качества. Положение режущей кромки не сохраняется постоянным. Причинами возникновения отклонений являются: размерный износ режущего инструмента, затупление режущей кромки, тепловые и силовые деформации, возникающие при резании, и т. д.

Под размерной стойкостью инструмента понимается продолжительность его работы, обеспечивающая сохранение обработанных размеров деталей. Размерная стойкость обычно меньше общей стойкости режущего инструмента, и ее наибольшее значение может быть достигнуто при компенсации систематической погрешности размеров и повышением точности наладки инструмента на размер.

Потери времени работы на станке, связанные с износом инструмента и необходимостью его замены, складываются из затрат времени на начальную наладку на заданный размер, подналадку (размерное регулирование), смену изношенного инструмента. Они составляют от 8 до 20% времени работы станка, в течение этого времени станок простаивает и не участвует в выпуске продукции.

Наладка - подготовка технологического оборудования и оснастки к выполнению определенной технологической операции, а подналадка - дополнительная регулировка технологического оборудования и (или) оснастки в процессе работы для восстановления достигнутых при наладке значений параметров.

Существуют следующие пути сокращения простоев оборудования, связанных с размерной наладкой, подналадкой и сменой режущего инструмента:

- применение взаимозаменяемого предварительно налаживаемого инструмента вне станка, не требующего подналадки его на рабочем месте, а где это не удается, введение механиз-

мов тонкой регулировки и применение приспособлений, позволяющих уменьшить время наладки на размер непосредственно на станке;

- применение быстросменного инструмента;
- повышение режущих свойств инструмента и увеличение периода размерной стойкости;
- принудительная замена инструмента;
- применение устройств для автоматического регулирования положения режущей кромки.

Еще одним резервом повышения производительности металлообработки, в частности токарных станков, может быть сокращение их простоев, связанных с уменьшением времени наладки и подналадки режущих инструментов (РИ) непосредственно на станке. При токарной обработке важно не только установить вершину и режущую кромку инструмента на заданный размер, но и постоянно поддерживать лезвие резца в пределах установленного поля допуска соответствующего качества точности.

Наладка РИ традиционными методами занимает значительное время и вносит существенные погрешности случайного и систематического характера в настройку на размер.

Одним из основных путей сокращения простоев станка, связанных с размерной настройкой, подналадкой (размерной регулировкой), является применение электромеханических устройств для автоматической настройки положения вершины и режущей кромки инструмента.

Такие устройства позволяют исключить человеческий фактор, повысить точность и снизить время наладки вершины и режущей кромки инструмента непосредственно на станке. Подобные устройства должны выполнять следующие функции:

- обеспечение высокой точности и повторяемости позиционирования в одну и ту же точку осей координат X, Z контроля вершины и режущей кромки;
- автоматическое измерение положения вершины РИ и его подналадку по управляющей программе;
- формирование, регистрация и хранение информации об измерении;
- передача полученной информации в систему ЧПУ станка.

На кафедре «Автоматизация машиностроения» предложена конструкция автоматического устройства размерной настройки режущих инструментов на токарном станке (рис. 2).

Устройство состоит из корпуса 1, мальтийского механизма поворота автоматической «руки» 2, пневмодвигателя модели *DSM-T32-270-AB* 3, беспроводного контактного датчика со щупом типа *TC63-20* фирмы *Blum* 4 (рис. 1), закрепленного на фланце поворотной «руки».

Эксцентрик мальтийского механизма 5 (рис. 2) поворачивается при включении неполноповоротного пневмодвигателя на угол в пределах от 0 до 270°. При достижении 90° палец эксцентрика входит в паз мальтийского креста, и начинается поворот автоматической «руки» из исходного положения в зону контакта щупа датчика с инструментом. Повернувшись на 135°, «рука» останавливается, щуп контактного датчика соприкасается с режущей кромкой инструмента.



Рис. 1. Контактный датчик *TC63-20* со встроенным источником питания

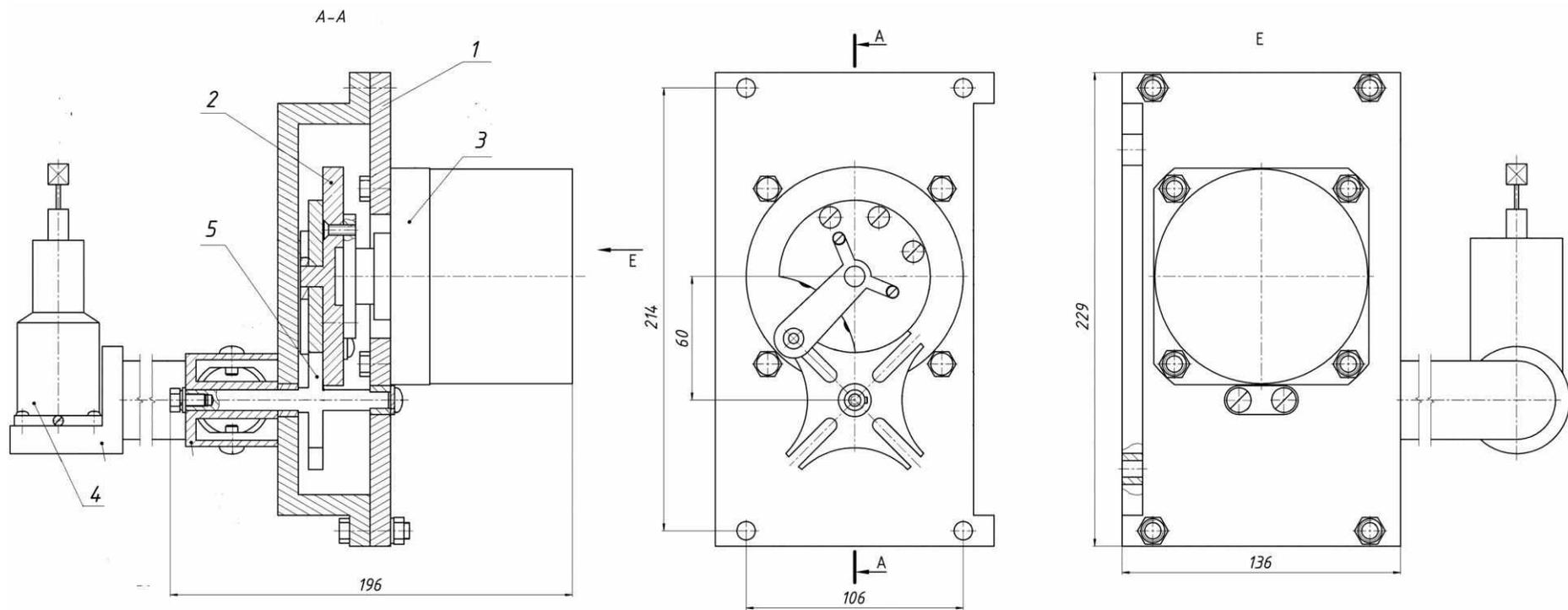


Рис. 2. Общий вид автоматического устройства наладки и контроля износа режущих инструментов

Передача сигнала осуществляется системой *Radio (BRC Technology)* в частотном диапазоне 2,400 – 2,483 ГГц. По радиоканалу в память системы ЧПУ заносятся координаты точки касания щупа с режущей кромкой инструмента. При этом происходит «привязка» РИ: фиксируются координаты положения его вершины и режущей кромки. Конструкция щупа датчика упрощает процесс «привязки», измерения и ввода координат положения вершины режущего инструмента.

При дальнейшем повороте эксцентрика до угла 270° происходит возврат автоматической «руки» в исходное положение, и на этом цикл измерения завершается.

Применение беспроводного контактного датчика *ТС63-20* продиктовано значительным его преимуществом по сравнению с аналогичными, так как в нем используется запатентованная технология *Shark 360*, которая дает более равномерный разброс погрешностей измерения во всех направлениях

Для унификации программного обеспечения настройки и измерения износа РИ необходимо выделить некоторые параметры, например, такими являются:

- положение измерительного щупа контактного датчика относительно абсолютного нуля системы координат станка;
- допустимые величины подач режущего инструмента;
- наличие системы подачи СОЖ;
- место хранения данных об инструментах и их калибровочных параметрах.

Для правильного измерения, настройки и контроля износа инструментов необходимо установить положение щупа контактного датчика автоматической «руки» с максимальной точностью вблизи оси центров токарного станка. С этой целью предварительно проводится калибровка с использованием калибровочного эталонного инструмента, в результате которой определяются координаты точки положения щупа датчика касания. Результаты измерения автоматически записываются в ПЗУ системы ЧПУ станка.

Для ускорения процесса измерения первое прикосновение щупа датчика производится на повышенной скорости подачи инструмента. Точное измерение при повторном касании происходит уже на пониженной скорости инструмента. Величина повышенной скорости зависит от двух факторов:

- максимальной скорости, с которой возможно отклонять датчик касания;
- путь торможения не должен превышать максимально допустимое отклонение щупа датчика касания.

Величина скорости подачи инструмента при точном измерении определяется частотой опроса измерительного сигнала системой управления. Например, если сигнал опрашивается системой с частотой 100 Гц, а требуемая точность 1 мкм, тогда максимальная скорость подачи инструмента для точного измерения составит $0,001 \cdot 100 = 0,1$ мм/с или 6 мм/мин. Частота опроса зависит от аппаратного и программного обеспечения системы управления станка.

Существенным является не только размер инструмента, но и его тип, потому что измерение производится с разных сторон режущей части инструмента. Существует несколько типов инструментов, у которых режущая кромка смещена относительно оси симметрии их державки или инструменты могут быть расположены вдоль разных осей координат токарного станка. Поэтому необходимо определить некий условный тип инструмента, располагающийся вдоль оси *Z* или *X* в положительном или отрицательном их направлениях. При этом важно учитывать, что это: «правый» или «левый» режущий инструмент, например, РИ с двумя режущими кромками (резьбовой резец) системой ЧПУ станка определяется как два разных инструмента. Тип и размеры инструментов, используемых в данной операции, должны быть занесены в базу данных ПЗУ системы ЧПУ станка с заданной точностью. Это необходимо в целях безопасности работы на станке, потому что при отсутствии этих сведений существует большая вероятность столкновения измерительного щупа с инструментом.

Если же заданные размерные величины слишком сильно отличаются от полученных при измерении, это свидетельствует о том, что инструмент идентифицирован неверно или он

установлен неправильно. Если же при измерении бокового смещения оказалось, что разброс данных выше некоторой заданной величины, сопоставимой с размером контактной площадки датчика, тогда проводится повторное измерение длины, ибо первое измерение длины произошло не по центру площадки датчика и должно быть уточнено.

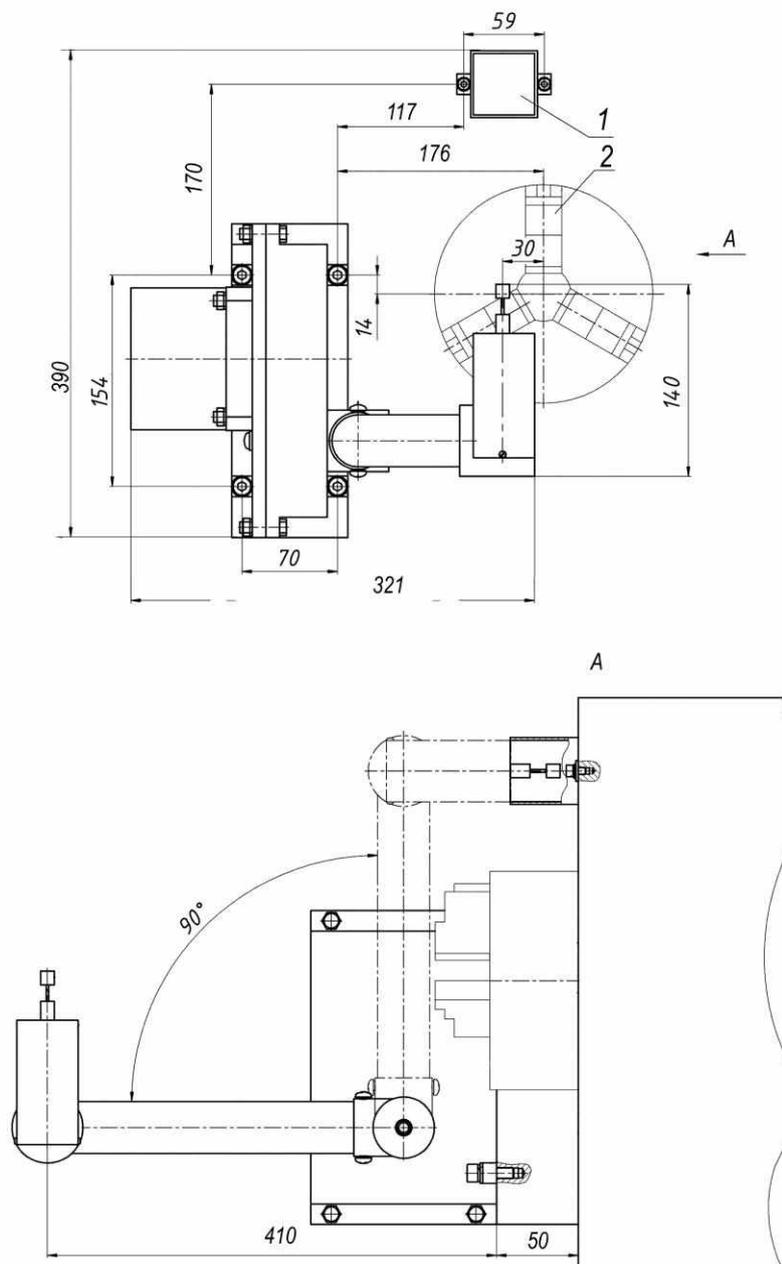


Рис. 3. Крепление устройства наладки и измерения износа к передней бабке станка

Таким образом, автоматическое устройство автоматической настройки режущих инструментов в период измерения работает как координатно-измерительная машина.

Вся конструкция устройства крепится к торцу корпуса передней бабки токарного станка вблизи трехкулачкового патрона 2 (рис. 3).

Для защиты щупа контактного датчика от СОЖ и стружки в исходном положении «руки» предусматривается кожух 1.

Применение описанного устройства будет способствовать автоматизации настройки РИ на автоматизированном металлорежущем оборудовании и одновременно иметь возможность осуществлять контроль износа инструмента, что позволит значительно снизить простои станков и улучшить качество их обслуживания.

Библиографический список

1. **Лурье, Г.Б.** Наладка и подналадка режущих инструментов на размер / Г.Б. Лурье. – М.: Высш. шк., 1981. – 80 с.
2. Nastrojka-instrumenta-dlya-tokarnyx-stankov// [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://stankitokarnie.ru>

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A.R. Kvartalov, A. A. Moskvichyov

DEVICE FOR AUTOMATED CUTTING TOOLS SETTING ON A TURNING MACHINE

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

The possibility to increase the productivity of machine processing at automated production by means of preliminary and corrective adjustment of the cutting tools for the required dimensions. The possibility of reducing the downtime and increasing metalwork productivity, using electromechanical wireless devices for automated tools size-setting by mounting them directly on a machine in the near premises of the processing area. Here we suggest the construction and the operation principle description of the automated tool setting device that is mounted on a headstock of a turning machine and is supplied with an optoelectronic sensor. Some recommendations for the device adjustment and an upgrade of the NC software of the machine are given.

Key words: tools adjustment (setting), tool wear monitoring, measuring device, contact sensor, Maltese-cross (Geneva) mechanism (drive).

УДК 621.914

М.Н. Зимин¹, Г.Н. Каневский^{1,2}, О.А. Коревский², А.С. Пичугин³**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
ФРЕЗЕРНО-ГРАВИРОВАЛЬНЫХ РАБОТ**Научно-производственное предприятие «Модель»¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²,
ОАО «НИТЕЛ»³

Рассмотрены особенности гравировальных работ на фрезерно-гравировальном станке. Систематизированы по геометрическому признаку поверхности как основа для гравировки и сами узоры. Проведен анализ вариантов программного обеспечения для 2-, 4-координатной гравировки. Рассмотрены пути решения проблемы неровностей заготовок. Предложены варианты отслеживания неровностей заготовок.

Ключевые слова: фрезерно-гравировальный станок, программное обеспечение, система ЧПУ, обмер, оцифровка поверхности, кривизна заготовки, алгоритм работы

Автоматизированная интегрированная технология подготовки и управления обработки на станках с ЧПУ обычно включает в себя реализацию CAD/CAM задач на основе соответствующего программного и аппаратного обеспечения. Применительно к фрезерно-гравировальным технологиям необходимы удобная программная среда для разработки CAD-моделей изделия с гравировальным узором на его поверхности (текста, рисунка), разработки технологии и управляющих программ обработки сложного профиля, специальный режущий инструмент, а также набор функций ЧПУ, обеспечивающий обработку узоров.

Вопросам практического использования CAD/CAM систем Cimatron и CimaGraphi, их взаимодействия при моделировании и разработки управляющих программ обработки 3D-узора на 3D-поверхности посвящена статья [1]. Там же рассмотрены особенности использования режущего инструмента и металлорежущего станка.

В данной статье рассматриваются в более широком плане возможности программного обеспечения в зависимости от типа и формы поверхностей и узоров, а также варианты решения некоторых проблем, возникающих в практике гравировки.

Анализ возможностей и применимости программного обеспечения рассматривается на примере двух принципиально разных по функционалу систем: CAD/CAM-системы общемашиностроительного назначения Cimatron v.11 и специализированной системы для гравировальных работ V Carve Pro [2].

ПО Cimatron позволяет реализовывать полную производственную цепочку изготовления изделия: конструирование детали и оснастки – разработка маршрутной и операционной технологии – оформление технологической документации – создание управляющих программ (УП).

Конструирование детали производится в среде 3D, при этом используются средства твердотельного, поверхностного или гибридного моделирования. На деталь оформляется КД по требованиям ЕСКД. Также возможно эффективно контролировать рабочие зоны оборудования и геометрию инструмента, используя средства симуляции и верификации.

Система V Carve Pro предназначена для разработки УП для станков с ЧПУ для выполнения гравировальных работ до 2,5 обработки. Функциональные возможности укрупнен-

но включают в себя создание геометрии обработки или импорт геометрии детали, разработку траектории движения инструмента, получение УП.

Таблица 1

Создание CAD моделей поверхности (детали) и узора

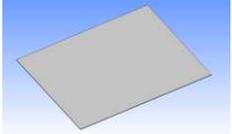
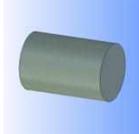
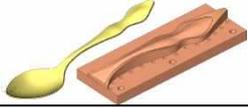
Типы узоров	Типы поверхностей		
	Плоская X-Y 	Цилиндр X-Y-Z 	3D-поверхность X-Y-Z 
Плоский, X-Y 	<i>Cimatron</i> Поверхность – легко Узор - сложно <i>V Carve Pro</i> Поверхность – легко Узор - легко	<i>Cimatron</i> Поверхность – легко Узор - сложно <i>V Carve Pro</i> Поверхность – легко Узор - легко	<i>Cimatron</i> Поверхность – легко Узор - сложно <i>V Carve Pro</i> Поверхность – невозможно Узор - невозможно
3D-контур X-Y-Z 	<i>Cimatron</i> Поверхность – легко Узор - сложно <i>V Carve Pro</i> Поверхность – легко Узор - невозможно	<i>Cimatron</i> Поверхность – легко Узор - сложно <i>V Carve Pro</i> Поверхность – легко Узор - невозможно	<i>Cimatron</i> Поверхность – легко Узор - сложно <i>V Carve Pro</i> Поверхность – невозможно Узор - невозможно

Таблица 2

Разработка УП обработки поверхности (детали) и узора

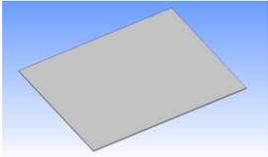
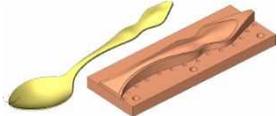
Типы узоров	Типы поверхностей		
	Плоская X-Y 	Цилиндр X-Y-Z устанавливается в поворотном столе (рис. 1)	3D-поверхность X-Y-Z 
Плоский, X-Y 	Поверхность и узор: 2-координатная обработка: X-Y, Z-установочное перемещение	Узор: 2-координатная (X-Y) или 3-координатная (X-Y-A) обработка	Поверхность: 3-координатная обработка, X-Y-Z Узор: 3-координатная обработка: X-Y-Z
	<i>Cimatron</i> Поверхности и узора (сложнее) <i>V Carve Pro</i> Поверхности и узора (легче)	<i>Cimatron</i> Узора (сложнее) <i>V Carve Pro</i> Узора (легче)	<i>Cimatron</i> Поверхности и узора - невозможно
3D-контур X-Y-Z 	Поверхность: 2-координатная обработка: X-Y. Узор: 3-координатная обработка, X-Y-Z	Узор: 3-координатная (X-Y-Z) или 4-координатная (X-Y-Z-A) обработка	Поверхность: 3-координатная обработка: X-Y-Z, Узор: 3-координатная обработка: X-Y-Z
	<i>Cimatron</i> Поверхности и узора <i>V Carve Pro</i> Поверхности и узора - невозможно	<i>Cimatron</i> Поверхности и узора <i>V Carve Pro</i> Поверхности и узора - невозможно	<i>Cimatron</i> Поверхности и узора <i>V Carve Pro</i> Поверхности и узора - невозможно



Рис. 1. Общий вид фрезерно-гравировального станка BZT-PFU-2015 PX-G с поворотным столом

В табл. 1 и табл. 2 сведены все возможные варианты сочетаний поверхностей – основы узоров и самих конфигураций узоров; для каждого варианта сочетаний указаны возможности использования программного обеспечения. При этом в силу особенностей конфигураций поверхностей как основы узора, а также самого узора, т.е. шрифта или рисунка, в силу особенностей их моделирования и технологии обработки в дальнейшем разделяются понятия «поверхность» и «узор».

Как показывает подробный анализ возможностей программного обеспечения и как видно из краткой сводки результатов этого анализа (табл. 1 и табл. 2), для автоматизированной гравировки рационально применение различных программных средств, каждое из которых наиболее эффективно и удобно может быть использовано для решения определенных задач. Так, система VCarve Pro ориентирована на разработку контуров и управляющих программ обработки плоского узора или шрифта на плоской поверхности и для этих целей имеет широкий набор функций, возможностей, удобна в работе, недорогая. Таких задач в машиностроительных изделиях большинство, и данная система может быть востребована.

Система Cimatron имеет самые широкие возможности для моделирования и разработки УП поверхностей любой сложности и точности, но не имеет удобных средств работы для гравирования плоских узоров и шрифтов, и поэтому если ее использовать для гравировки, то для сложных пространственных узоров, где требуется точное математическое описание контуров и поверхностей.

Рассмотренные две системы отражают два типа задач: самые простые и самые сложные. Естественно, существуют системы, в той или иной степени претендующие на универсальность, например CimaGraphi и ArtCAM. Эти системы имеют неплохие средства моделирования плоских и 3D-узоров и разработки УП, но, по сравнению с системой Cimatron, слабые возможности работы с поверхностями. Наилучшее решение сложных задач находится в рациональном сочетании разных систем, как показано в работе [1].

Кроме того, программные системы, имеющие возможность моделирования 3D-поверхностей – основ узора, могут оказаться незаменимыми при решении некоторых проблем точной гравировки, например, необходимости поддержания требуемой или постоянной глубины гравировки в разных участках листа. Это вызвано двумя причинами: волнистостью самого листа и разнотолщиной листа в состоянии поставки. Первая причина может быть устранена с помощью специального механизма прижима шпиндельной головки к листу, как, например, решено в [3]. Далее рассмотрены варианты решения второй проблемы.

Глубина гравировки в машиностроительных изделиях, например, для корпусов и

пультов, может колебаться в пределах 0,2 – 0,5 мм, при этом разнотолщинность может быть не менее 0,3 – 0,7 мм. В такой ситуации часть листа просто не будет обработана, а на обработанных участках разница в высоте гравировки даже в 0,05 – 0,07 мм уже визуальнo определяется. Решением данной проблемы может стать технология предварительного определения высоты разнотолщинности и ее учет при разработки УП, либо отслеживания кривизны при движении по траектории УП.

В любом варианте работа на станке будет происходить в два этапа:

- первый этап – измерение и сбор в определенном формате данных на разных участках листа о величинах неровностей;
- второй этап – передача данных в систему ЧПУ станка, корректировка разработанной или создание новой УП.

Выполнять эти работу могут по-разному, с разной степенью автоматизации. Рассмотрим эти способы.

Ручной способ

Этап 1. Измерение и сбор данных. Оператором производятся измерения высоты неровностей по оси Z вручную с помощью линейки, концевых мер или индикатора в заранее определенных местах (точках) листа.

Этап 2. Разработка УП. Целесообразнее всего оператору вручную скорректировать разработанную ранее УП на станке, добавив в кадрах УП величину Z.

Достоинство ручного способа: не требуются финансовые вложения и специальная подготовка. Недостатки: длительность процедуры при обмере большой площади, неудобство обмера «горбов» линейкой, отсутствие визуализации обмера, отсутствие автоматического сохранения данных и передачи их в СУ станка, измеряется только величина Z, практически невозможно точно определить X,Y, следовательно, будут ошибки при корректировке УП. Применимость этого варианта. Для небольших участков листа с малым количеством неровностей и малым числом измеренных точек.

Механизированный способ

Этап 1. Измерение и сбор данных с использованием координатно-измерительной машины типа «рука». Оператор устанавливает и позиционирует координаты точек неровностей. При этом измеряются значения X,Y,Z. Массив данных формируется в электронном виде или переписывается с экрана компьютера. По сути, этот процесс представляет собой пошаговое сканирование поверхности листа.

Этап 2. Разработка УП. Если получен массив значений X,Y,Z, соответствующий оставленному следу конкретной УП, то массив X,Y,Z вводится в ПО Cimatron. Для этого массив должен быть записан в определенном порядке. По этим данным строится ломаная линия, которая и будет являться траекторией для новой УП.

Формат данных и пример массива для ввода в ПО Cimatron:

```
X123.12 Y10.25 Z0.12  
X123.35 Y10.80 Z0.24  
X124.47 Y11.05 Z0.35  
X125.89 Y11.24 Z0.78  
X127.64 Y11.67 Z0.41  
X129.13 Y12.02 Z0.20
```

Достоинства механизированного способа: возможность визуализации результатов обмера и сохранения массива данных в текстовом формате, одновременное получение значений координат X,Y,Z. Недостатки: ручной подвод измерительного щупа к каждой заранее выбранной точке листа, необходимость повтора измерений для определения данных с требуемой точностью, так как щуп при каждом измерении касается под разными углами к поверх-

ности, длительность процедуры обмера, разделение этапов 1 и 2 во времени и, тем самым, простой гравировального станка, накопление ошибки по цепочке измерение - обработка в ПО Cimatron - построение УП. Трудно обеспечить точность построения поверхности в пределах 0,05 мм.

Автоматизированный способ.

Этап 1. Измерение и сбор данных. Используется измерительный датчик, который в автоматизированном режиме по управляющей программе на станке с ЧПУ перемещается по листу по координатам X, Y и измеряет координату Z , при этом выполняется измерение отклонения высоты Z для каждого кадра УП. Таким образом, создается массив данных XYZ , соответствующий кадрам УП. Такой подход, судя по рекламной информации, реализован, например, в станках Roland [4]. Однако данных по применению такого подхода нет, поэтому рассмотрим более подробно возможность этого варианта.

Достоинства автоматизированного способа: высокая производительность, особенно на листах большого размера, возможность точного измерения, так как измерительный щуп всегда имеет строго вертикальное положение, возможность измерений с мелким шагом. Недостатки: определенная сложность и более высокая стоимость реализации способа.

При этом обмерять можно либо весь лист (сканирование), либо двигаться по командам от УП и обмерять только траекторию гравировки. Если реализуется процесс сканирования, то необходима обработка «облака» точек, построение 3D-поверхности листа и затем разработка УП уже не для плоской поверхности, а для 3D-поверхности, что является достаточно трудоемким, длительным и неточным процессом. Поэтому для автоматизированного способа предлагается отслеживание неровностей в соответствии с траекторией гравировки, при этом потребуется только корректировка кадров УП: добавление в каждый кадр значения высоты Z .

Этап 2. Разработка УП. Для разработки новой УП после обмера (сканирования) в качестве исходной информации будем иметь:

- массив X, Y , соответствующий кадрам УП в ЧПУ гравировального станка;
- сигналы от датчика, соответствующие величинам Z , полученные с определенным шагом.

В связи с этим, задача второго этапа – принять эти сигналы и синхронизировать их с массивом X, Y .

Для реализации данного подхода требуется специальное программное обеспечение в системе ЧПУ станка, принимающее координаты сканированных точек, обрабатывающее их в определенном формате и генерирующее кадры УП (рис. 2).

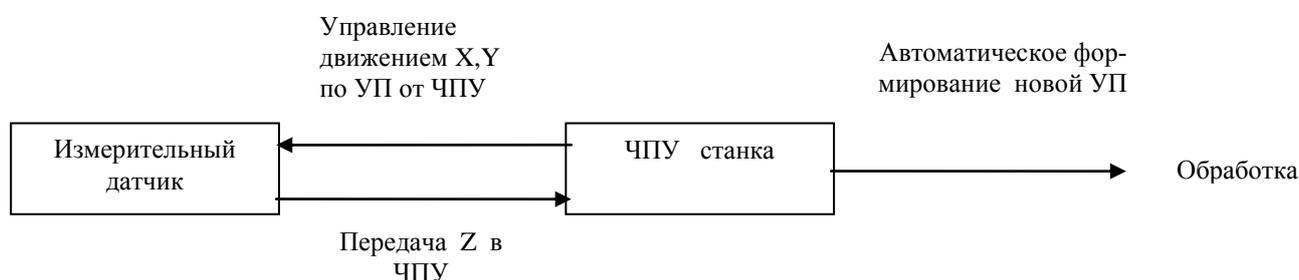


Рис. 2. Схема получения и обработки данных с датчика обмера поверхности листа

В качестве примера такой системы ЧПУ можно привести схему работы системы ЧПУ модели NC 3.5 разработки НПП «Модель» (рис. 3), установленной на ряде станков с функцией обработки массива сканированных точек [1, 5, 6].



Рис. 3. Схема работы математического обеспечения СПУ NC 3.5

Библиографический список

1. Каневский, Г.Н. Изготовление художественных изделий с использованием CimatronE и CimaGraphi / Г.Н. Каневский [и др.] // САПР и Графика. 2006. № 6. С. 72–74.
2. Vectric passionate about CNC [Электронный ресурс]. - United Kingdom: Vectric Ltd, cop. 2013. – Режим доступа: <http://www.vectric.com>
3. Серия 10000 [Электронный ресурс]. – Canada: XYZ Automation, cop.2013-2014. – Режим доступа: <http://www.xyz-ru.com/series/17>
4. Roland EGX-20 [Электронный ресурс]. - Japan : Roland, cop.2013. – Режим доступа: <http://www.roland-dg.ru>.
5. Панышев, Н.Н. Особенности систем управления металлообрабатывающим оборудованием в производстве формообразующей оснастки / Н.Н. Панышев, Г.Н. Каневский // Опыт: сб. ст. Спец. приложение к журналу РИТМ. 2007.№1.
6. НПП «Модель» [Электронный ресурс]. – Российская Федерация: ООО «НПП «Модель», cop. 2014. - Режим доступа: <http://www.model.nn.ru>

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

M. N. Zimin¹, G. N. Kanevskiy^{1,2}, O. A. Korevskiy², A. S. Pichugin³

AUTOMATED INTEGRATED PROCESS OF MILLING AND ENGRAVING WORK

“Model” Research and Development Enterprise¹,
Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev²
OAO “NITEL”³

Particularities of engraving work on a milling and engraving machine are dealt with. The surfaces are systemized by their geometry as engraving bases, so are the patterns. Software variants for 2- to 4-dimensional engraving are analyzed. The solutions to the problem of uneven piece surfaces are considered. The variants of uneven pieces controlling are suggested.

Key words: milling and engraving machine, software, NC system, measurement, digital surfacing, flection of piece, working algorithm.

УДК 62-486

О.И. Вольнов, Д.О. Дудукин

СТЕКЛОПЛАСТИК. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ И СОВРЕМЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е. Алексеева

Стеклопластик представляет собой неоднородный сплошной материал, имеющий уникальные характеристики, которые обеспечивают его применение в самых различных отраслях: от бытовой техники и сельского хозяйства до авиационного и космического производства. В данной статье рассмотрены: технология производства и формообразование изделий из стеклопластика, ключевые этапы внедрения их в промышленность и современное применение.

Ключевые слова: волокна, минеральная вата, намотка, напыление, инжекция, пултрузия, ручное формование.

История возникновения

Первыми цивилизациями, которые изготовили стекло, были древние финикийцы и египтяне. И те, и другие могли расщеплять стекло в волокна. Однако они использовали очень малое количество этих волокон, и их качество было весьма грубым. Они использовали их для декораций и не подозревали о скрытом потенциале волокон стекла.

В средневековой Венеции ремесленники стали использовать тонкие нити из стекла для украшения своих изделий. Было замечено, что стеклянные нити, в отличие от хрупкого кускового стекла, обладают парадоксальным свойством: чем они тоньше, тем более гибкими они становятся. По мере того, как нити становились все тоньше и тоньше, возрастала их гибкость, но все же они оставались все еще достаточно толстыми и ломались при сильном изгибе.

С приходом индустриальной революции стеклянные нити стали использовать не только при изготовлении украшений. В 1836 г. француз Дабю-Боннель получил первый в мире патент на способ получения нитей.

В 1870 году человек по имени Джон Плэер разработал метод массового производства стеклянного волокна с использованием сильной подачи струи пара и изобрёл то, что называется минеральной ватой. Этот материал использовался в качестве эффективной изоляции. В 1872 году институт Франклина в Филадельфии сообщил, что инженер К. Селлерс изготовил «минеральный хлопок», продувая струю пара через жидкое стекло. В результате была получена белая мягкая масса, пригодная для изоляции паровых котлов и трубопроводов. В 1880 году Герман Хаммесфох получил патент на стекловолокнистую ткань с шелковыми вплетениями. Такая ткань была прочной и огнестойкой.

Помимо изготовления материала, стеклянные волокна могли бы с успехом использоваться для многих других целей, но этому препятствовали две проблемы: было достаточно трудно изготавливать их настолько тонкими, чтобы они обладали хорошей гибкостью. Вторая проблема заключалась в отсутствии промышленного способа производства.

Первое стекловолокно, используемое в настоящее время, было получено молодым исследователем Дэйлом Клейстом из компании Corning Glass, который пытался соединить два стеклянных блока, чтобы сделать воздухонепроницаемый затвор. Внезапно струя сжатого воздуха ударила в поток расплавленного стекла и создала фонтан стеклянных волокон, показав Дэйлу простой метод изготовления стекловолокна. Молодой ученый решил применить пистолет для распыления металла, который используется для расплавления бронзы для ее напыления на детскую обувь. Он заполнил пистолет вместо бронзы расплавленным стеклом

и обнаружил, что пистолет выпускает сноп тончайших нитевидных стеклянных волокон. Специалисты сразу же поняли, что данный эффект может быть использован в производстве стеклянной шерсти для теплоизоляции и в других технологических процессах.

В 1935 году Corning Glass совместно с Owens-Illinois, другой экспериментирующей со стекловолокном компанией, продолжали работать над развитием технологии. В 1936 году они запатентовали продукт Fiberglas, только с одной буквой «s», а в 1938 году обе компании слились в одну под названием Owens-Corning, которая существует и по сей день. В конце 30-х и начале 40-х годов прошлого века они разработали идею свёртывания волокон в ткань в качестве материала. В 1941 году проводились успешные эксперименты с горячей очисткой и обработкой стекловолоконной ткани. Термообработка сделала ткань более гибкой и стала ключевым звеном в укреплении слоистых пластиков.

Первые теоретические разработки советских ученых по структуре стекла были начаты в начале 1930-х годов, а по стеклянной вате в 1938-1939 гг.

До Великой Отечественной войны стеклянное волокно применялось для теплоизоляционных целей и производилось по «старонемецкому способу», путём вытягивания нитей из размягчённых стеклянных штабиков. В конце 30-х на заводе в Биллимбаево начали производство минеральной ваты, которую изготавливали под давлением 10-12 атм при нагреве 250-280° (по Цельсию). На Зестафонском заводе в Тбилиси вату производили путём распыления струи сжатого воздуха в 6-8 атм.

В это время в СССР рассматривали применение стеклоткани в качестве оболочек для дирижаблей. В 1937 году в Государственном институте стекла была лаборатория по работе со стекловолокном, и молодые учёные (Аслоанова, Иоффе, Черняк) занялись исследованием этого материала. В 1941 году был разработан новый состав стекла, а также и новое производственное оборудование для его получения. За счёт этого в скором времени в Гусь-Хрустальном открыли первый завод по производству стекловолокна.

Технологии производства и методы формообразования деталей

Основные затраты при производстве изделий из стеклопластика приходятся на технологическое оборудование и рабочую силу, затраты на которую велики за счет трудоёмкости и больших временных затрат на производство.

Базовый производственный процесс, применяющийся до настоящего времени, начинается со стеклянных шариков, являющихся сырьем для получения волокна. Использование шариков преследует две цели: шарики легко подавать в расплав с контролируемой скоростью, что облегчает поддержание температуры расплава на заданном уровне, и, второе, в прозрачных шариках легко обнаруживаются примеси.

Стекло расплавляют в электрических печах и выдавливают через перфорированную металлическую пластину, называемую питательной фильерой, или бушингом. Фильеру изготавливают из платины, платинородиевых сплавов или других редких материалов, поскольку расплавленное стекло обладает очень сильным размывающим действием, которому не способны противостоять большинство металлов. Платина, имеющая достаточно высокую температуру плавления (1760 °С), позволяет нагревать стекло, размягчающееся в интервале 980–2100 °С до состояния текучести.

Для формирования непрерывных нитей расплавленное стекло после прохождения через мелкие отверстия фильеры подается на наматывающую машину, на которой нити растягиваются и уменьшаются в диаметре до 0,7–4,5 мкм. Сотни параллельных волосков собираются в большом стальном барабане, где они соединяются в тонкую нераскручивающуюся нить, наматываемую на бобины. С этого момента она может быть использована в традиционных процессах текстильного производства.

Р. Слейтерс и его коллектив установили, что стекловолокно, помещенное в различные твердеющие смолы, способно формировать легкий прочный и упругий материал, хорошо поддающийся формованию, способный заменить фанеру и листовой металл.

В настоящее время существует ряд технологий, позволяющих получать необходимую форму стекловолокна.

Метод ручного формирования - представляет собой послойное укладывание в форму или на форму армирующего материала (например, это может быть стеклоткань или стекломат) с одновременным пропитыванием каждого слоя смолой. Пропитка армирующего материала смолой осуществляется в данном случае с помощью кисти или валика. После пропитки осуществляют дополнительную укатку для устранения пузырьков воздуха и равномерного распределения смолы. При этом очень важно осуществить тщательное устранение воздуха, поскольку впоследствии такие места могут очень мягкими и продавиться. В таком случае потребуется восстановление или даже замена детали. После формирования изделие высыхает, а затем извлекается из формы, подвергается последующей обработке.

Метод напыления использует специальный распылительный пистолет, в который подаётся стеклонить. Она рубится специальным пистолетным ножом на отрезки определенной длины. Эти отрезки смешиваются со струёй катализированной смолы в воздухе и так наносятся на форму. Как и в случае с методом ручной формовки, после процесса требуется произвести укатку с целью удаления воздушных прослоек. Далее материал оставляют при обычной комнатной температуре для отвердевания.

Метод намотки - армирующие волокна пропускаются через ванну с активированной смолой. После смоляной пропитки они наматываются на вращающийся сердечник до получения нужной толщины. При этом можно координировать угол намотки путем изменения движения подающей волокна тележки. Углы подачи можно изменять при изготовлении одного изделия и таким образом задавать ему определённые конечные характеристики.

Метод инъекции - предварительно раскраивают стекловолокнятый армирующий материал (стеклоткань или стекломат). Его выкладывают на матрицу и прижимают пуансоном, после чего под определённым давлением впрыскивается смола. После окончательной пропитки инъекцию (впрыскивание смолы) останавливают и в таком виде оставляют материал до полного высыхания, после чего уже извлекают из матрицы и придают дальнейшей обработке (если таковая требуется). Данный метод ещё также называют RTM - ResinTransferMoulding.

Метод прессования осуществляется за счёт сдавливания премикса стекловолокна и смолы деталями пресс-формы, находящегося между ними. Одним из видов прессования также является штамповка. Цикл прессования длится примерно в течение пяти минут. Имеется две разновидности этой технологии - прессование предварительно пропитанных смолой премиксов и прессование с пропиткой внутри самой формы. А на практике чаще применяется первый способ.

Метод пултрузии. Пултрузия - процесс получения стеклопластикового профиля путем непрерывной вытяжки через нагретую до 120-150°C формообразующую фильеру стекломатериалов, пропитанных термореактивной смолой. Стекломатериал сматывается со специальных катушек в сухом состоянии и поступает в устройство пропитки пултрузионного станка, где смачивается полиэфирной, эпоксидной или другой смолой. Под высоким давлением и температурой стекловолокно и смола превращаются в особый прочный материал. С помощью этой технологии появилась возможность получать стеклопластиковый профиль заданных свойств и сложных форм с высокой скоростью. Физические характеристики стеклокомпозита, полученного данным способом, не меняются в широком температурном диапазоне от -70 до +170 °C.

Методом пултрузии можно получить изделия с любым профилем - стержень, уголок, труба, короб и т.д. Полученный стеклопластиковый профиль сочетает в себе уникальные свойства дерева, металла и полимера: низкую теплопроводность, высокую механическую и

диэлектрическую прочность, устойчивость к агрессивным средам и резким перепадам температур, биологическую и атмосферную стойкость. Долговечность конструкций из стеклопластиковых профилей значительно превосходит срок службы аналогичных конструкций из других материалов.

Метод RFI - армирующая стеклоткань выкладывается вместе со слоем смолы, а затем всё накрывается специальной вакуумной плёнкой. Полученная конструкция помещается в автоклав. Далее внутри пакета создаётся вакуум, затем увеличивается температура, и за счёт вакуума смола начинает пропитывать армирующий материал. Иногда процесс происходит без применения дорогостоящего автоклава, и пропитка смолой происходит за счёт вакуума без нагрева. Этот метод хорошо подходит для изготовления больших стеклопластиковых частей, например, крыльев для самолета, корпусов лодок и т.д.

Современное применение

В настоящее время невозможно найти в зарубежной практике класс технических, транспортных, строительных конструкций, в котором не было бы примера использования композиционных материалов. Веское подтверждение этому - ежегодно увеличивающееся потребление стекловолокна в гражданском производстве.

Стеклопластики применяются во многих областях народного хозяйства и технических отраслей. Механическая прочность, хороший коэффициент светопропускания и способность окрашиваться в любой цвет требуемой интенсивности позволяют использовать стеклопластики в строительстве в виде плоских и гофрированных листов, рулонных материалов, многослойных панелей и фонарей. Для хранения химических продуктов применяют стеклопластики, стойкие к коррозии, которые оказались намного экономичнее нержавеющей стали.

В электротехнике стеклопластики используют в качестве электроизоляционных и конструкционных материалов, а также для изделий при изготовлении высоковольтных выключателей, траверс, панелей, деталей, электрических машин, и корпусов приборов и т.д.

Коррозионная стойкость, антимагнитные свойства и технологичность определили использование стеклопластиков в судостроении в производстве лодок и катеров, а также речных и морских судов со значительным водоизмещением, глубоководных аппаратов и т.п. В химической, нефтяной и горнодобывающей отраслях нашли применение стеклопластиковые трубы и емкости из стеклопластиков для транспортировки и хранения агрессивных жидкостей и шахтного водоотлива, а также вентиляционные системы для отвода паров и газов.

Стеклопластик применяется в различных отраслях машиностроения, из которых следует особо отметить автомобильную промышленность, станкостроение, вагоностроение (крыши и сиденья автобусов и вагонов, кузова и детали автомашин, контейнеры, цистерны и т.д.). Стеклопластики также применяют для производства спортивного инвентаря и товаров народного потребления (кресла, цветочницы, шесты для прыжков, удочки, ограждения балконов, мотошлемы, и многое другое).

Доля композиционных материалов, применяемых в строительстве авиационной техники, постоянно увеличивается, поскольку инженеры-механики стремятся использовать все преимущества этого материала в отношении «масса-прочность». Доля деталей из стекловолокна (композитов) в общей массе материалов, применяемых в авиационном строительстве:

- аэробус а380 – 22 %;
- боинг 787 – до 60 %;
- военные более – 40 %.

Приведенный перечень отражает внедрение таких конструкций в мировой практике. В России успехи в этой области значительно скромнее. Это отражают и объемы производства, и объемы потребления стекловолокна.

Библиографический список

1. **Lamm, M.** The Fiberglass Story // Invention & Technology Spring, 2007. V. 22, Issue 4.
2. **Преображенский, А.И.** Стеклопластики – свойства, применения, технологии // Главный механик. 2010. №5. С. 27–36.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

O. I. Volnov, D. O. Dudukin

FIBER GLASS PLASTIC. HISTORY OF DEVELOPMENT, PRODUCTION TECHNOLOGY, PRODUCT SHAPING AND CURRENT USAGE

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

Fiber glass plastic is an inhomogeneous solid material with unique properties which enable the usage of the material in a wide variety of industries: from household appliances and farming to aviation and space. This article deals with: production technology and forming of fiber glass items, key stages of their industrial implementation and current use.

Key words: fiber, mineral cotton (rock wool), winding (reel-in), spraying, injection, pultrusion, hand molding (shaping).

УДК 658.58

А.В. Запорожцев

УПРАВЛЕНИЕ ИНЦИДЕНТАМИ В ЗАДАЧАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СЛОЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Важными проблемами организации технического обслуживания и ремонтов сложных комплексов оборудования являются нарушение сроков устранения критических неисправностей и повторные отказы оборудования. Для повышения оперативности в устранении критических неисправностей рассмотрена возможность использования принципов управления инцидентами и проблемами, которые входят в концепцию управления техническим обслуживанием информационных систем IT Service Management. На основе методов структурного анализа и проектирования (IDEF 0) и процессного подхода в управлении разработана модель процессов технического обслуживания оборудования, включающая процесс управления инцидентами. Модель процессов технического обслуживания сложных комплексов оборудования с использованием принципов управления инцидентами может быть использована для построения систем инженерного мониторинга сложных комплексов технических систем.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт оборудования, критические неисправности, теория ограничений, управление инцидентами и проблемами, структурные методы анализа и проектирования.

Проблемы технического обслуживания и ремонта оборудования

Любое предприятие использует некоторое оборудование для обеспечения своей деятельности. Обеспечение работоспособности такого оборудования является сущностью процесса технического обслуживания и ремонта (ТОиР) [1].

В тех случаях, когда: оборудования много, оно достаточно сложное, оно установлено в различных помещениях предприятия или распределено географически на большом удалении – во всех этих случаях возникает ряд типичных проблем обеспечения работоспособности оборудования.

Система управления техническим состоянием оборудования – это совокупность средств, объектов и исполнителей, обеспечивающих работоспособное состояние объектов эксплуатируемой технической системы. Система управления техническим состоянием оборудования (рис. 1) обычно включает в себя три основных подсистемы:

- подсистему диагностирования объектов технической системы;
- подсистему управления работами текущего содержания объектов технической системы;
- подсистему управления ремонтами объектов технической системы.

Организация технического диагностирования, а также выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) регламентируются Правилами технической эксплуатации оборудования. Однако, когда оборудование объединено в сложные комплексы, возникают проблемы обеспечения их работоспособности.

Типичными негативными явлениями, возникающими в системе управления техническим состоянием комплексов оборудования, являются нарушение сроков восстановления критических неисправностей и повторные отказы оборудования. Критическими называются неисправности, имеющие высокий уровень тяжести последствий. Для определения причин данных негативных явлений построена причинно-следственная диаграмма (рис. 2). При построении диаграммы использовался метод построения дерева текущей реальности, являющийся одним из инструментов теории ограничений Голдратта [2]. Очевидно, что критические неисправности оборудования должны устраняться в первую очередь. Однако, в большинстве случаев, отказы оборудования устраняются по мере их возникновения. Это проис-

ходит потому, что в сложных комплексах оборудования наблюдается большой поток отказов, а возможности их устранения ограничены из-за того, что организация ТОиР построена на нормативах обслуживания отдельной единицы оборудования, без учета того, что сложность обслуживания комплекса оборудования возрастает в геометрической прогрессии в зависимости от сложности комплекса.

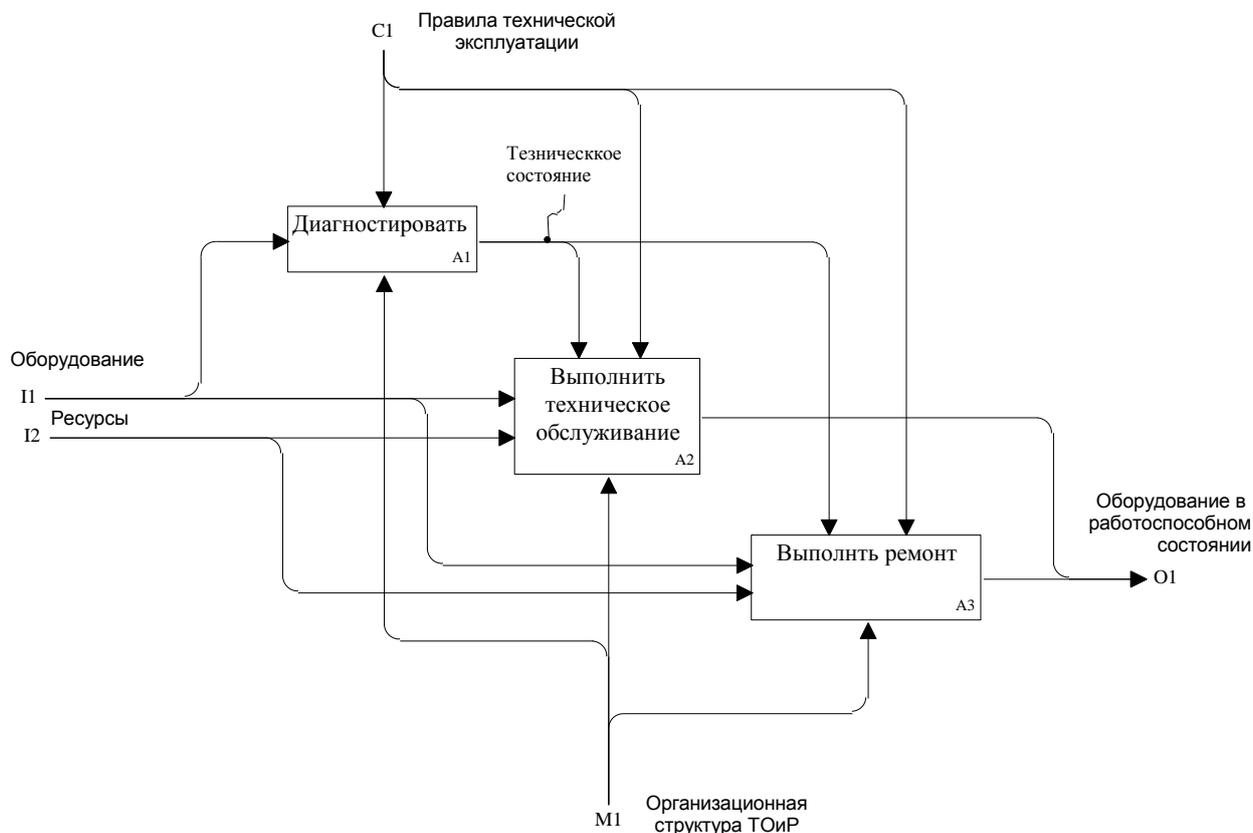


Рис. 1. Основные функции системы управления техническим состоянием оборудования

В контексте рассматриваемой задачи рассмотрим причину «отсутствие контроля соблюдения регламента проведения работ ТО». Регламенты проведения работ технического обслуживания (ТО) устанавливают ответственность за выполнения отдельных операций этого процесса, а также сроки проведения этих операций. Однако осуществлять оперативный контроль этих операций на уровне среднего и высшего звена управления организацией не представляется возможным. В то же время отказы технической системы могут потребовать подключения специальных служб для устранения неисправностей. Обычно подключение таких служб для устранения особых отказов могут разрешить только руководители среднего и высшего звена. Время на получение такого разрешения снижает оперативность устранения неисправностей.

Анализ данной причины позволяет сделать следующий вывод: существующие технологии организации проведения работ технического обслуживания не ориентированы на оперативность устранения неисправностей. Для критических неисправностей, которые могут вызвать остановку процессов основного производства или повлиять на уровень безопасности, отсутствие системы оперативного реагирования может создать серьезные проблемы в деятельности предприятия.

Концепция управления инцидентами и проблемами

Для разработки предложений по созданию эффективной системы оперативного устранения критических неисправностей рассмотрим концепцию управления техническим обслуживанием информационных систем IT Service Management [3].

Рассмотрим один из элементов концепции IT Service Management - управление инцидентами и управление проблемами, внедрение которых в практику управления ТОиР может дать большой положительный эффект.



Рис. 2. Причинно-следственная диаграмма проблем технического обслуживания сложных комплексов оборудования

Основными понятиями управления инцидентами и проблемами являются:

- инцидент – есть любое событие, которое или прерывает нормальное функционирование технической системы или резко повышает вероятность нарушения нормального функционирования;
- проблема – есть неизвестная причина одного или более инцидентов. Одна проблема может породить несколько инцидентов.

Управление инцидентами – есть деятельность по восстановлению нормального функционирования технической системы с минимальными задержками.

Управление проблемами – есть деятельность по предотвращению повторения инцидентов. Основной задачей управления проблемами являются исследование и диагностика причин инцидентов.

Наиболее детально в концепции управления инцидентами определены решения направленные на организацию деятельности оперативного устранения дефекта в технической системе, который привел к нарушению нормального функционирования технической системы. Ключевыми аспектами этих решений являются:

- диспетчеризация – оперативная регистрация и постоянный контроль состояния инцидентов;
- многоуровневая система поддержки функционирования технической системы;

- эскалация – оперативная передача инцидента с нижнего уровня на более высокий уровень обслуживания технической системы в том случае, когда отказ по инциденту не может быть устранен на нижнем уровне обслуживания.

Реализация концепции управления инцидентами в системе ТОиР

Использование концепции управления инцидентами в процессе технического обслуживания потребует введения дополнительных операций. Представим основные функции системы ТОиР с использованием принципов управления инцидентами в виде модели системы в стандарте IDEF0 (рис. 3) [4].

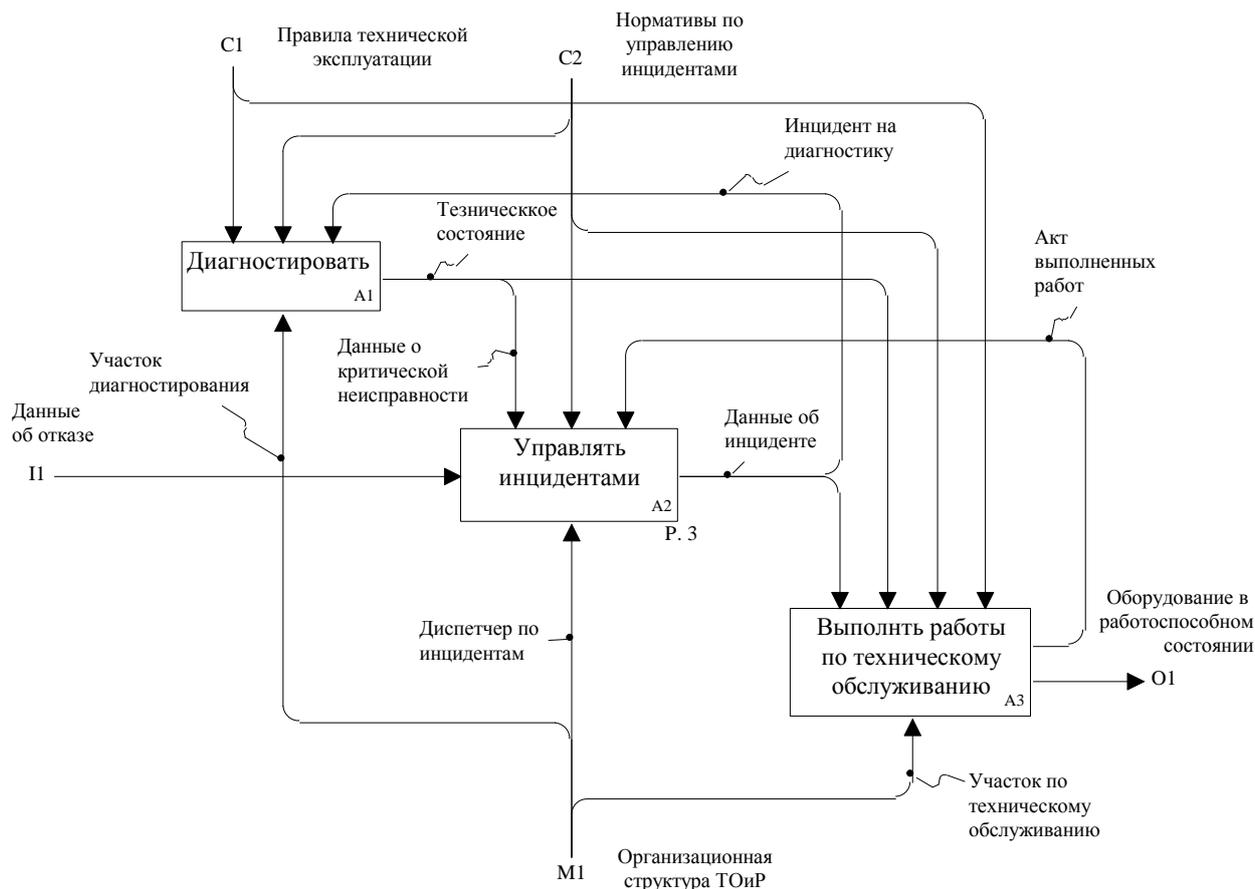


Рис.3. Процесс управления техническим обслуживанием оборудования на основе управления инцидентами

Техническое обслуживание оборудования включает два процесса: процесс диагностирования (A1) и процесс выполнения работ по техническому обслуживанию (A3), который производится на основе данных о техническом состоянии оборудования. Процесс управления инцидентами направлен на оперативное устранение критических неисправностей. Кроме того, на управление инцидентами поступают все сведения об отказах в работе оборудования. В том случае, когда по отказу в работе оборудования недостаточно сведений о причине отказа, то такой инцидент направляется в подразделение, которое занимается диагностированием оборудования. Инциденты, по которым достаточно сведений о причине неисправности, направляются в подразделения, выполняющие работы по устранению неисправностей. Основные операции по управлению инцидентами представлены на диаграмме (рис. 4).

После регистрации инцидента (A11) проводится его анализ. В результате анализа инцидента должен быть определен его статус: «на диагностику», «устранить неисправность», «передать на вышестоящий уровень».

Инцидент передается на диагностику в том случае, когда по нему недостаточно данных о неисправности. После выяснения причины неисправности инцидент передается в подразделение, которое непосредственно обслуживает данное оборудование (статус: устранить неисправность). В том случае, когда устранение неисправности требует подключения подразделений, имеющих большие возможности по устранению неисправностей, то инцидент передается им.

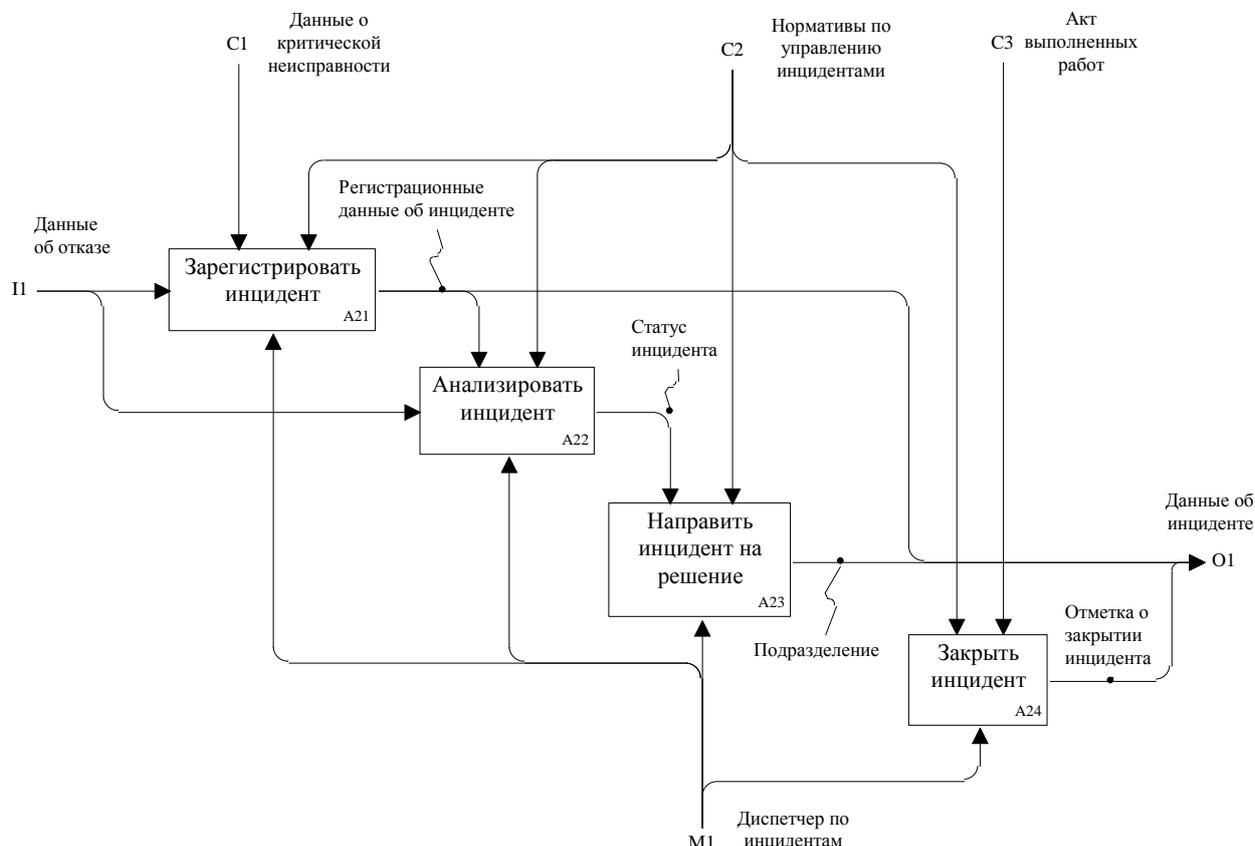


Рис. 4. Основные операции управления инцидентами

Все правила работы с инцидентами должны быть установлены соответствующими нормативными документами, обязательными для всех подразделений, участвующих в техническом обслуживании оборудования. Наличие таких нормативных документов резко повышает оперативность устранения критических неисправностей, так как не требует принятия решений на уровне руководителей. Управление инцидентами производится из одного центра.

Результатом управления инцидентами является сокращение времени устранения отказов технической системы и накопление данных по инцидентам, на основе анализа которых может быть построена эффективная система управления проблемами.

Система управления проблемами включает следующие функции:

- анализ инцидентов с точки зрения их повторяемости с целью выявления проблем функционирования технической системы;
- ранжирование проблем на основе оценки рисков отказов технической системы;
- анализ конкретных причин возникновения отказов технической системы по наиболее важным проблемам.

Такая последовательность выполнения функций управления проблемами позволяет сосредоточиться на анализе наиболее важных проблем и разработке мероприятий по устранению причин их возникновения.

Выводы

Использование концепции управления инцидентами и проблемами в задачах ТОиР сложных комплексов оборудования позволяет повысить уровень надежности оборудования за счет оперативного устранения критических неисправностей, выявления причин возникновения наиболее критичных отказов и разработки мероприятий по их устранению.

Библиографический список

1. ГОСТ 18322-78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: Госстандарт, 1978.
2. **Детмер, У.** Теория ограничений Голдратта: Системный подход к непрерывному совершенствованию: [пер. с англ.] / Уильям Детмер. – 2-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – 444 с.
3. **Ингланд, Р.** Введение в реальный ITSM, LiveBook, 2010. – 132 с.
4. Ross, D. and Schoman, K. Structured Analysis for Requirements Definitions. IDEF. Transactions on Software Engineering, V. SE-3. № 1. January 1977.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A.V. Zaporozhtsev

CASE MANAGEMENT IN MAINTENANCE AND REPAIR OF COMPLEX EQUIPMENT SYSTEMS

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

Target: Complex equipment systems reliability improvement.

Methodology: Problem analysis in equipment maintenance and repair on the basis of the theory of constraint (TOC) instruments. Usage of methods of structural analysis and design (IDEF0) and process approach in management for development of a model for technical maintenance processes management.

Approach: Case management principles used in the concept of technical maintenance of IT Service Management information systems.

Results and field of application: A model of equipment technical maintenance processes is set up, including case management process. This model can be used for design and construction of systems for engineering monitoring of complex technical systems.

Conclusions: Case management principles can be reasonably used to improve the effectiveness in curing of technical systems failures.

Key words: technical maintenance and repair, theory of constraint, case management, IDEF0 standard.

УДК 62-503.57

А.В. Каляшина, Р.Б. Бердичевский

**ПРОГРАММНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ
НА ПРИМЕРЕ МЕХАТРОННОГО КОМПЛЕКСА ФИРМЫ FESTO**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Для имитации производственного процесса в лабораторных условиях фирма Festo предлагает множество станций. Рационально комбинируя отдельные станции, можно создать собственную производственную систему. В ходе работы над проектом был разработан лабораторный комплекс, состоящий из трех работ. В этом комплексе использованы две станции Festo – сортировки и распределения. Подробно описана работа станций, а также приведены результаты проведенной оптимизации. Рабочий цикл был сокращен до 54 с (начальный цикл 1 мин 22 с). Оптимизация проводилась двумя способами: механически, с использованием пульта и программно – за счет редактирования функциональных блоков станций. Содержатся рекомендации по расширению функционала мехатронного комплекса.

Ключевые слова: мехатронный модуль, язык программирования Step 7, программная оптимизация, сенсоры, интеллектуальные системы

Производственная линия на промышленном предприятии, как правило, состоит из отдельных гибких производственных модулей. Каждый модуль выполняет определённую функцию в общем процессе (распределение, проверка, обработка, перемещение материалов, сборка, складирование). Для имитации производственного процесса в лабораторных условиях фирма Festo предлагает множество станций. Рационально комбинируя отдельные станции, можно создать собственную производственную систему.

Двух станций достаточно для реализации простого, приближенного к производству процесса для изучения основ техники автоматизации: распределения (рис. 1) и сортировки (рис. 2). Эта простейшая из всех комбинаций выполняет много основных функций автоматизированного производства: разделение, подача, распознавание, сортировка.

Каждая дополнительная станция позволяет добавлять новые учебные темы. Но все станции преследуют единую цель: максимально близкая реализация современных процессов автоматизированного производства в рамках подготовки магистров и бакалавров. В ходе работы над проектом был разработан лабораторный комплекс, состоящий из трех работ. В данной статье описаны результаты работы и содержатся рекомендации по расширению функционала мехатронного комплекса.

Станция распределения (рис. 1) обеспечивает сепарацию заготовок.



Рис. 1. Станция распределения

До восьми заготовок находятся в вертикальном накопителе магазинного модуля. Цилиндр двустороннего действия по отдельности выталкивает заготовки. Модуль перекладки захватывает отделённую заготовку вакуумной присоской. Модуль переноса перекладчика, приводимый в действие поворотным приводом, подаёт заготовку в место приёма на последующую станцию.

В качестве исполнительных устройств используются промышленные компоненты. Для поворотного привода модуля переноса можно настроить различный угол поворота в пределах $90 - 270^\circ$. Конечные положения определяются микропереключателями. Заготовки из магазинного модуля выталкивает линейный цилиндр двустороннего действия. Его конечные положения определяются бесконтактными датчиками.



Рис. 2. Станция сортировки

Станция сортировки направляет заготовки по трём скатам. Поступающие заготовки обнаруживаются диффузионным оптическим датчиком в начале ленточного транспортёра. Датчики перед барьером распознают свойства заготовок (чёрный или нечёрный цвет, металл – неметалл). Оптический датчик с отражателем контролирует уровень заполнения скатов.

Предлагается расширить функциональные возможности станции за счет использования дополнительных сенсоров. Например, можно распознавать не два цвета, а, например, четыре. Для этого необходимо расширить программный код.

Станция сортировки очень хорошо подходит для проектных работ благодаря своей модульной конструкции.

В процессе исследования работы комплекса возникла необходимость провести оптимизацию рабочего цикла. Так как в действующем цикле есть операции простоя механизмов и холостые ходы. Была проведена временная оптимизация.

С этой целью было измерено время работы всех механизмов и построена циклограмма работы. В ходе отслеживания неэффективных режимов работы удалось снизить время цикла на 54 с, оптимизированная циклограмма (рис. 3). Оптимизация была проведена с помощью пульта SimuBox.

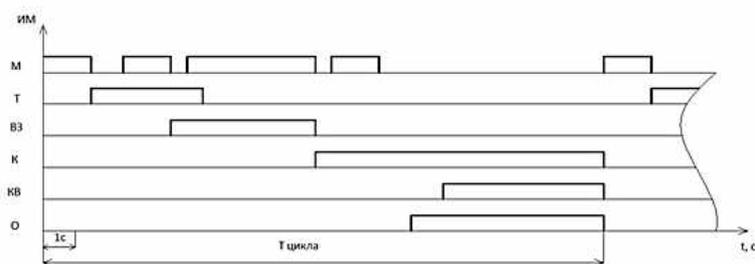
В ходе оптимизации были выполнены следующие действия:

1. Исключен холостой ход манипулятора.
2. Совмещены движения приводов.

Кроме механической оптимизации комплекса, существует возможность проводить программную оптимизацию с помощью SimaticManagerStep 7. Кроме того, при внесении некоторых изменений можно запрограммировать оптимальные законы движения отдельных механизмов.

Для программирования контроллера SIMATIC S7 300/400 используется язык STEP 7.

Память S7- CPU контроллера можно разделить на три области: загрузочная память, рабочая память и системная память.



М – манипулятор
Т – толкатель
ВЗ – вакуумный захват
К – конвейер
КВ – контактный выключатель
О – отсекатель

Рис. 3. Циклограмма работы мехатронного комплекса

Загрузочная память предназначена для загрузки программы пользователя. Если она интегрирована в CPU (RAM), то может быть расширена за счет использования внешних модулей памяти (RAM, EPROM). В компактной серии CPU 31×C (и других CPU из серии S7-300) в качестве загрузочной памяти используются микрокарты памяти (MMC). В этом случае работа CPU без установки MMC невозможна.

Рабочая память (всегда RAM) встроена в CPU (RAM), но она может быть расширена. Она служит для размещения используемого кода программы и данных. В CPU S7-400 рабочая память имеет две части: одна для размещения программы, другая – только для блоков данных (операции с данными быстрее). Доступ к рабочей памяти имеет только операционная система CPU.

Для оптимизации режимов работы был использован язык релейной логики LadderDiagram (LAD).

Пример логического выражения на LAD представлен на рис. 4.

LAD предназначен для программирования промышленных контроллеров (ПЛК). Синтаксис языка удобен для замены логических схем, выполненных на релейной технике. Ориентирован на инженеров по автоматизации, работающих на промышленных предприятиях. Обеспечивает наглядный интерфейс логики работы контроллера, облегчающий не только задачи собственно программирования и ввода в эксплуатацию, но и быстрый поиск неполадок в подключаемом к контроллеру оборудовании.

Программа на языке релейной логики имеет наглядный и интуитивно понятный инженерам-электрикам графический интерфейс, представляющий логические операции как электрическую цепь с замкнутыми и разомкнутыми контактами. Протекание или отсутствие тока в этой цепи соответствует результату логической операции (истина – если ток течет; ложь – если ток не течет).

Основными элементами языка являются контакты, которые можно образно уподобить паре контактов реле или кнопки. Пара контактов отождествляется с логической переменной, а состояние этой пары – со значением переменной.

Конкретные версии языка реализуются обычно в рамках программных продуктов, для работы с определенными типами ПЛК. Часто такие реализации содержат команды, расширяющие множество стандартных команд языка, что вызвано желанием производителя полнее учесть желания заказчика, но в итоге приводят к несовместимости программ, созданных для контроллеров различных типов.

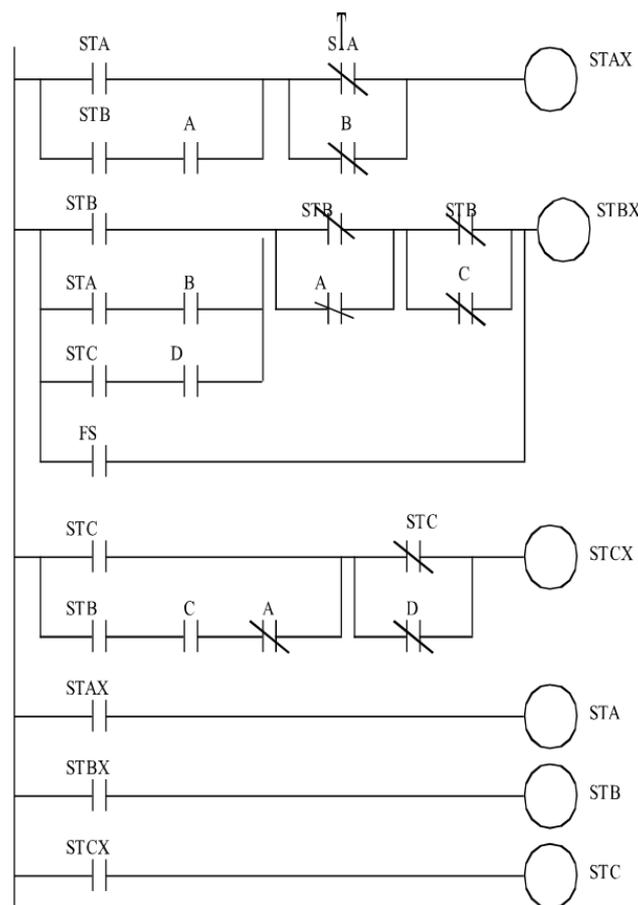


Рис. 4. Пример логического выражения на LAD

Также в процессе оптимизации был использован язык FBD (FunctionBlockDiagram) – графический язык программирования стандарта МЭК 61131-3. Предназначен для программирования программируемых логических контроллеров. Программа образуется из списка цепей, выполняемых последовательно сверху вниз. Цепи могут иметь метки. Инструкция перехода на метку позволяет изменять последовательность выполнения цепей для программирования условий и циклов.

Каждый блок программы можно редактировать, изменять входные значения либо же удалять полностью. Можно добавлять новые блоки. Работая в блоке FB70, необходимо убрать неэффективные режимы работы станции распределения путем удаления соответствующих элементов из текста программы.

Для загрузки оптимизированной программы в память ПЛК необходимо выделить редактируемый блок FB70 и из верхнего меню на панели управления выбрать пункт PLC-Download.

Затем необходимо проверить работоспособность мехатронного модуля. Если в программном коде не содержится ошибок, то световая индикация на панели ПЛК будет мигать зеленым цветом и можно запустить в тестовом режиме станцию, но уже с оптимизированной программой.

Для работы со станцией сортировки необходимо переключить USB-адаптер из контроллера станции распределения в контроллер станции сортировки. Затем загрузить программу в компьютер.

Для сокращения времени задержки работы программы необходимо в программе редактировать блок FB10. В программе выбираем элемент S11 (тестирование наклонного лотка на переполнение деталями). В исходной программе время задержки равно 3 с, необходимо изменить это значение на 500 миллисекунд. Вторая задержка в исходной программе нахо-

дится в элементе S12 (идентификация заготовки) и равна двум секундам. Ее значение нужно уменьшить до 200 миллисекунд. После изменения времени задержек необходимо загрузить отредактированную программу обратно в память ПЛК (загрузка осуществляется аналогично, как и для станции распределения).

После редактирования обеих станций и загрузки оптимизированного программного кода можно запустить мехатронный комплекс и наблюдать его работу в оптимизированном режиме. Для этого нужно последовательно нажать Reset и Start на обеих станциях. Мехатронный модуль начнет работу по оптимизированным программам. Можно наглядно увидеть насколько сократился цикл работы мехатронного модуля.

Для дальнейшего расширения функционала мехатронного комплекса предлагаются следующие возможности:

- добавление к комплексу новых станций;
- установка дополнительных датчиков для распознавания нескольких цветов заготовок;
- разработка голосового управления запуском комплекса;
- программирование элементарных движений механизмов комплекса.

Библиографический список

1. Пупков, К.А. Седьмой форум по мехатронике // Мехатроника. 2001. №3. С.46-47.
2. Подураев, Ю.В. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем / Ю.В. Подураев, В.С. Кулешов // Мехатроника. 2000. №1. С. 5–10.
3. Шалобаев, Е.В. Микросистемная техника и мехатроника: особенности соотношения микро- и макроуровней // Микросистемная техника. 2000. №4. С. 5–9.
4. Алейников, А. Ф. Датчики (перспективные направления развития): учеб. пособие / А.Ф. Алейников, В. А. Гридчин, М. П. Цапенко; под ред. М. П. Цапенко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 176 с.
5. Лысов, Н.Ю. Разработка и исследование быстродействующих интеллектуальных приводов мехатронных систем // Мехатроника. 2001. №2. С. 35–43.
6. Официальный сайт фирмы Festo www.festo.com
7. Официальный сайт журнала мехатроника. - Режим доступа: www.mechatronica-journal.ru

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A.V. Kalyashina, R.B. Berdichevskiy

PROGRAMMED OPTIMIZATION OF WORKING OPERATIONS EXEMPLIFIED BY MECHATRONIC COMPLEX BY “FESTO”

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

“Festo” company offers a variety of stations to imitate a working process in laboratory conditions. Own in-house production system can be set up by a reasonable combination of separate stations.

A laboratory complex was set up in the course of the work on the project, consisting of three works. Two Festo stations are used in this complex – sorting and distributing ones.

This article deals in detail with work of the stations as well as with the results of the optimization introduced. The working cycle is reduced to 54 seconds (initial cycle of 1 minute 22 seconds). The optimization was effected in two ways: mechanically, using a benchboard, and programmatically by means of functional station blocks correction.

This article contains recommendations as of expanding of mechatronic complex functional.

Key words: mechatronic unit, Step 7 programming language, program optimization, sensors, intelligent systems.

УДК 62-503.57

А.В. Каляшина, М.М. Цыбушкина

**АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ INVENTORAPI И iLogic
С ЦЕЛЬЮ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Для машиностроительного и промышленного 3D-проектирования все чаще применяются программные продукты Autodesk. Приведен сравнительный анализ возможностей InventorAPI и iLogic для их применения в учебном процессе технического вуза. Проведен анализ сильных и слабых сторон каждого программного продукта и даны рекомендации по их практическому использованию. InventorAPI и iLogic обладают собственными преимуществами: по интерфейсу, по среде программирования, по возможности создания интерактивных приложений. Для их применения в учебном процессе необходимы прежде всего первоначальные навыки 3D-моделирования, навыки программирования в среде VisualStudio. Необходимым условием является разработка комплекса лабораторных работ с описанием базовых операций и индивидуальных заданий для самостоятельного освоения расширенных возможностей InventorAPI и iLogic.

Ключевые слова: 3D-проектирование, среда программирования, интерактивные приложения, программный интерфейс, макрос, объектная модель.

Как известно, Autodesk Inventor – это семейство продуктов для машиностроительного и промышленного 3D-проектирования, включающее в себя средства моделирования, создания инструментальной оснастки и обмена проектными данными. Цель данной статьи – провести анализ применения программных модулей Autodesk Inventor в учебном процессе технического вуза, прежде всего на направлениях, связанных с САПР. Несомненным преимуществом программных продуктов Autodesk является наличие бесплатной образовательной лицензии для вузов и школ, что крайне актуально, так как ныне существует тенденция сокращения аудиторных часов и студенты должны значительную часть материала изучать самостоятельно.

Впервые знакомство с Autodesk Inventor происходит на занятиях по начертательной геометрии. Благодаря возможностям 3D-моделирования у студентов первых курсов развивается пространственное мышление и такая важная для инженера способность, как оценка взаимного расположения объектов – актуальная для будущего построения компоновочных схем.

Рассмотрим возможности программных продуктов Autodesk для студентов старших курсов и магистров. В состав Autodesk Inventor входит API – интерфейс прикладного программирования и его пользовательский вариант iLogic.

Эти программные продукты могут использоваться в ряде дисциплин, связанных с проектированием, например:

1. Основы автоматизированного проектирования.
2. Сквозные технологии CAD/CAM/CAE.
3. Методы и теория оптимизации.
4. Теория эксперимента в исследованиях систем.

Важно также отметить, что для работы в среде Autodesk Inventor необходимы навыки программирования на VisualBasic, поэтому рекомендуется в начальном курсе программирования научиться работать в среде VisualStudio. Это поможет сквозному освоению расширенных возможностей программирования в Autodesk Inventor на старших курсах и в магистратуре.

Проведем анализ сильных и слабых сторон AutodeskInventorAPI и iLogic, чтобы разобраться, для решения каких задач подходит каждый из этих продуктов.

AutodeskInventorAPI

Работать с InventorAPI можно только через программный интерфейс. Никаких других вариантов нет. При этом можно использовать любое средство разработки, все они будут работать через общую библиотеку типов. Выбор средства разработки не является принципиальным.

В InventorAPI можно создавать различные типы приложения:

- - отдельные самостоятельные модули (.exe);
- - надстройки, которые работают в одном процессе с Inventor – iLogic – это частный случай надстроек;
- - программы на VBA (макросы), также работают внутри процесса Inventor;
- - специальные приложения, использующие функционал ApprenticeServer, это облегченный интерфейс Inventor, который создан для взаимодействия с системами документооборота.

Эти возможности InventorAPI позволяют использовать его в ряде совершенно различных дисциплин: для проектирования, создания компоновочных схем, оптимизации параметров, обеспечение процессов жизненного цикла, моделирования и т.д.

На рис. 1 показана модель COMAPI.

Модель COM API

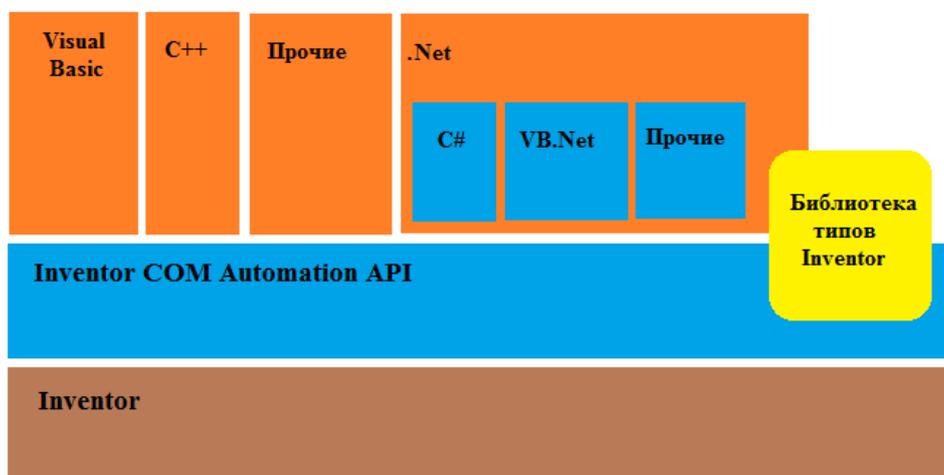


Рис. 1. Модель COMAPI

Благодаря объектной модели InventorAPI происходит стандартное взаимодействие объектов друг с другом. Одной из рекомендаций при изучении объектной модели является понимание иерархии объектов. Кроме того, в InventorAPI существует возможность программирования с использованием макросов, что важно для студентов, которые не сильны в программировании, а для создания пользовательского интерфейса вполне достаточно освоить процесс написания макросов.

Итак, для того чтобы эффективно работать с документами Inventor, необходимо иметь:

- навыки работы с объектной моделью API;
- навыки работы с приложениями, которые работают с COMAPI, используя средства разработки типа VB.NET или C#.

Достоинства InventorAPI:

1. Возможность создавать разнообразные приложения : надстройки AddIn (DLL), либо исполняемые модули EXE
2. Использование удобные интерфейсов пользователя (лента, панели, кнопки, меню).
3. Средства создания интерактивных приложений.
4. Отсутствие ограничений на сложность и размер приложений.
5. Широкий выбор инструментов разработки :VB.NET, C#, C++.
6. Использование среды VisualStudio, которая позволяет производительно разрабатывать программы: большой набор инструментов для облегчения программирования, профессиональные инструменты отладки (в ILogic этого нет). Сложные правила в iLogic отлаживать непросто.

Autodesk iLogic

iLogic появился в 2009 году, он был создан как надстройка, и первые два года предоставлялся только подписчикам. Сегодня iLogic встроен в Inventor и работает с ним в одном процессе, то есть вся инфраструктура для тех правил, которые мы будем создавать в iLogic, – уже работает, например, объем программных кодов будет значительно меньше. Благодаря iLogic в редакторе параметров появились: текстовые параметры, логические параметры и многозначные параметры, которые могут содержать как числа, так и текст. Эти возможности значительно расширяют функционал по настройке модели, что актуально при выполнении исследовательских работ магистрами старших курсов.

iLogic в среде InventorAPI – это прежде всего инструментарий моделирования, который позволяет создавать модели на параметрических связях (классический подход) и модели с программируемой логикой (правила iLogic). iLogic позволяет также многократно использовать компоненты и автоматизировать рутинные операции, с помощью прикладного программирования и инструментов VBA.

Работа в среде iLogic проста и комфортна. Интерфейс встроен во вкладку «Управление».

Одна из базовых способностей iLogic – создание элементов пользовательского интерфейса – UserForm, при этом наличие каких-либо дополнительных правил не требуется.

Для создания правил в ILogic предназначен специальный редактор. В среде этого редактора есть набор готовых функций, которые можно легко использовать в тексте создаваемого правила.

Существуют следующие опции-правила:

- цветовое выделение (например, синий – параметры, фиолетовый – функции и т.д.);
- подавление – правило будет инициировано только вручную;
- выполнение правил с подавлением лишних диалогов, которые Inventor задает пользователю;
- выполнение зависимых правил.

Одна из особенностей ILogic – выполнение правил – можно поставить в зависимости от событий в Inventor. Фактически, правило становится обработчиком события. Например, правило «обновить свойства» можно выполнять перед выполнением события «сохранение документа». Такой подход очень полезен для спецификации.

Особенности работы с ILogic:

- необходимо понимать, каким образом инициализируются правила, особенно, если модель сложная, а правил много. Также необходимо представлять, как параметры и события управляют выполнением правил;
- для разработки правил необходимо знание синтаксиса ILogic (цветовое выделение элементов);

- для облегчения работы желательно освоить синтаксис некоторых элементов VB.NET, так как синтаксические конструкции VB доступны в ILogic и позволяют управлять ходом программы;
- представлять номенклатуру функций и как они структурированы в библиотеке функций ILogic, количество функций на сегодня уже более 200 и динамично возрастает;
- планировать решение задач на автоматизацию, и интеграцию с другими приложениями (например, MSExcel);
- планировать выполнение группы взаимосвязанных правил для достижения желаемого результата.

Достоинства ILogic:

1) встроен в Inventor, то есть, нет необходимости создавать надстройки для запуска правил;

2) можно быстро создать систему управления моделью сборки без программирования обработки событий Inventor, доступен оконный интерфейс, в окнах можно быстро создавать программы для изменения параметров модели и создать кнопки для запуска правил;

3) легкость в освоении специалистами, не умеющими программировать: Help на русском языке, несложный интерфейс, названия функций интуитивно понятны.

Мы рассмотрели сильные стороны InventorAPI и ILogic. Но есть и множество ограничений при работе в этой среде. В неявном виде при работе с ILogic используются функции API.

Если проект сложный, использование возможностей API при работе с ILogic увеличивается, например, в следующих случаях:

- нет подходящих функций ILogic;
- обработка в цикле элементов коллекций (например, конвейерная обработка объектов);
- необходимость создавать внешние программы на других языках VB.NET, C#, C++;
- достаточно сложные правила отладить в среде ILogic достаточно трудно, так как он не дает информацию о причине ошибки – максимум, укажет номер строки в которой найдена ошибка.

Предлагается следующая схема работы со сложными правилами: установить VBExpress, создать в нем код, для решения возникшей проблемы, провести отладку, перенести в ILogic (на этом шаге могут потребоваться незначительные поправки). В результате такой схемы создается новое работающее правило.

Также существует возможность вызывать правила ILogic из внешних программ. Для этого предусмотрен интерфейс ILogicAutomation. Для того чтобы внешняя программа могла работать с этим интерфейсом, необходимо подключить специальную библиотеку Autodesk.ILogic.Interfaces.dll, будет обеспечивать программу информацией об объектах ILogic, доступных для взаимодействия.

Выводы

Для обучения будущего технического специалиста крайне важна возможность получить навыки в разных областях. Эту возможность предоставляют программные продукты AutodeskInventor. Это прежде всего:

- развитие пространственного мышления;
- обучение программированию с возможностью создания интегрированных приложений;
- разработка конструкций изделий;
- оптимизация характеристик;
- создание пользовательского интерфейса;

- разработка системы управления моделью;
- конструкторско-технологическая подготовка производства.

Выбор варианта применения того или иного инструмента определяется контекстом решаемой задачи, существующими навыками пользователя, исходными данными задачи.

Библиографический список

1. **Гузенков, В.Н.** AutodeskInventor в курсе инженерной графики: учеб. пособие / В.Н. Гузенков. – М.: Телеком, 2009.
2. **Ананьев, В.** AutodeskInventorAPIилиiLogic: чтовыбрать? / В. Ананьев. – М.: AUR-2012.
3. **Концевич, В.Г.** Твердотельное моделирование машиностроительных изделий в AutodeskInventor / В.Г. Концевич. – Киев, – Москва: ДМК Пресс, 2007.
4. **Ланцов, А.Л.** Компьютерное проектирование знаний / А.Л.Ланцов. – М.: Инфра - М, 2010.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A.V. Kalyashina, M. M. Tsybushkina

INVENTOR API AND iLogic FUNCTIONAL OPTIONS ANALYSIS FOR THE PURPOSE OF THEIR USAGE IN THE COURSE OF THE TEACHING PROCESS OF A TECHNICAL UNIVERSITY

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

Autodesk software products are currently more frequently used for machine and industrial 3D design. This article contains a comparative analysis of InventorAPI and iLogic options for them to be used in the teaching process of a technical university. The analysis considers strong and weak points of each software product, and recommendations are given concerning their practical implementation. InventorAPI and iLogic have their own advantages as of their interface, programming environment, and the possibility to create interactive applications. To use the products in the teaching process one should have initial skills of 3D modeling and programming in VisualStudio environment. A set of laboratory works is necessary to be elaborated describing basic operations and individual tasks for self studying of advanced options of InventorAPI and iLogic.

Key words: 3D design, programming environment, interactive applications, program interface, macros, object model.

УДК 62-503.57

А.В. Каляшина, А.В. Кочеров

**ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
В ПРОИЗВОДСТВЕ СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Описан процесс автоматизации экспериментальной установки по производству сульфата алюминия с применением алгоритмов нечеткого регулирования. Составлена математическая модель процесса химической реакции с точки зрения теплового баланса. Синтезирован алгоритм нечеткого регулирования. Разработанный алгоритм позволяет поддерживать температуру экзотермической реакции в реакторе периодического действия. Для настройки регулятора была создана программа моделирования, написанная на языке Mathcad в программе Mathcad. Программа эмитирует реакцию в реакторе при заданных условиях и действии регулятора. В результате моделирования определено, что алгоритм управления на основе нечеткой логики не только позволяет обеспечить заданные параметры технологического процесса, но и сохранить приемлемые параметры точности и быстродействия объекта регулирования. Регулятор показал не плохую устойчивость к изменению параметров объекта управления без переналадки.

Ключевые слова: нечеткая логика, управление процессами в химическом производстве, сульфат алюминия, адаптивное управление.

Во всем мире остро стоит проблема очистки воды. Очистка воды идет в несколько этапов. Одним из этапов очистки является коагулирование. В процессе коагулирования природные воды подвергаются глубокой физико-химической очистке. Принцип коагулирования основан на том, что свежеприготовленные гидроксиды металлов (например $Al(OH)_3$) в виде студенистого осадка образуют коллоидные соединения, которые затем коагулируют (отделяются от жидкой фазы) и уносят с собой в осадок взвешенные в воде частицы и растворенные вещества.

Наиболее перспективным методом повышения рентабельности производства сульфата алюминия является снижение себестоимости за счет замены дорогостоящего гидроксида алюминия на альтернативные дешевые источники сырья.

В качестве альтернативного сырья для производства сульфата алюминия наибольший интерес представляет отход алюминиевой промышленности – алюмосодержащий кек. Кек образуется на предприятиях по извлечению вторичного алюминия.

С ростом интереса к алюминию как к одному из наиболее ликвидных металлов на мировом рынке развивается направление по извлечению вторичного алюминия. Расширяются полигоны для складирования солевых кеков, затрачиваются денежные средства для обслуживания и содержания.

В России химиком В.Н. Захаревским разработана технология получения сульфата алюминия из солевых кеков. Технология получения сульфата алюминия из алюмосодержащих кеков защищена патентом Российской Федерации №2315715.

Для отладки технологии переработки солевых кеков была создана слабо автоматизированная опытно-промышленная установка мощностью 40 т/мес.

Одним из самых важных этапов в производстве сульфата алюминия является варка солевого кека в серной кислоте.

Стабилизация температуры в реакторе является важным условием технологического процесса. Эмпирическое правило Вант-Гоффа гласит: при изменении температуры реакции на 10 К скорость реакции возрастает в 2-4 раза. Из этого следует, что при небольших изменениях температуры время реакции может значительно меняться[1-4].

Энергетический баланс в реакторе описывается уравнением

$$V \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} = -V \cdot \Delta H \cdot \frac{k}{3} C_{H_2SO_4} \cdot e^{-k \cdot t} - \frac{T - T_0}{R_t} + P(t),$$

где $P(t)$ - тепловой поток нагревателя $\left[\frac{\text{Дж}}{\text{с}} \right]$;

V - объем системы $[\text{м}^3]$;

C_p - теплоемкость единицы объема при постоянном давлении $\left[\frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{м}^3} \right]$;

T - температура $[\text{К}]$;

ΔH - приращение энтальпии в результате реакции $\left[\frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \right]$;

$C_{H_2SO_4}$ - мгновенная концентрация серной кислоты $\left[\frac{\text{моль}}{\text{м}^3} \right]$;

k - константа скорости реакции $\left[\frac{1}{\text{с}} \right]$;

$R(t)$ - скорость реакции $\left[\frac{\text{моль}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}} \right]$;

$Q(t)$ - тепловые потери $\left[\frac{\text{Дж}}{\text{с}} \right]$.

Уравнение теплового баланса относительно T является трансцендентным дифференциальным уравнением. Решить это уравнение возможно только численно.

Регулируя мощность $P(t)$, выделяемую нагревателем, можно влиять на скорость реакции и температуру в реакторе. Вычисление функции управления методами классической теории управления не представляется возможным из-за сложности выражения энергетического баланса.

Для вычисления функции управления $P(t)$ были использованы методы нечеткой логики. Математический аппарат нечеткой логики позволяет строить логико-лингвистические модели, отражающие общую смысловую постановку задачи, используя качественные представления, соответствующие "человеческим" способам рассуждений и принятия решений [5].

Для решения задачи были определены три нечеткие переменные (табл. 1).

Таблица 1

Значения лингвистических переменных

Входные переменные	Температура	Низкая, Средняя, Норма, Высокая
	Производная от температуры	Низкая, Средняя, Высокая
Выходная переменная	Коэффициент заполнения для ШИМ	Низкий, Средний, Высокий

Функции принадлежности переменных представлены на рис. 1–3.

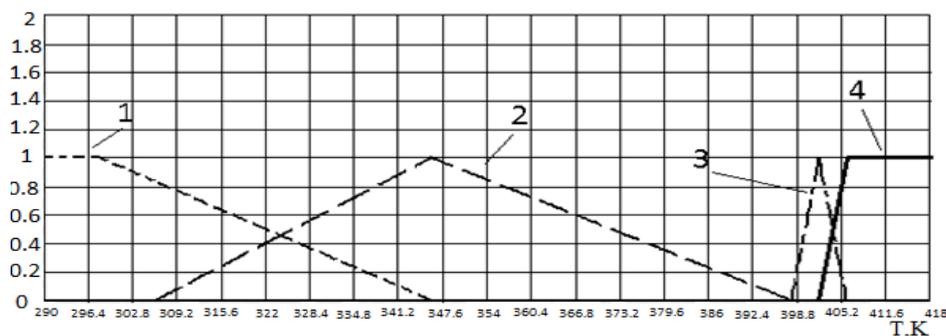


Рис. 1. Функции принадлежности переменной "температура":
1 - низкая; 2 - средняя; 3 - норма; 4 - высокая

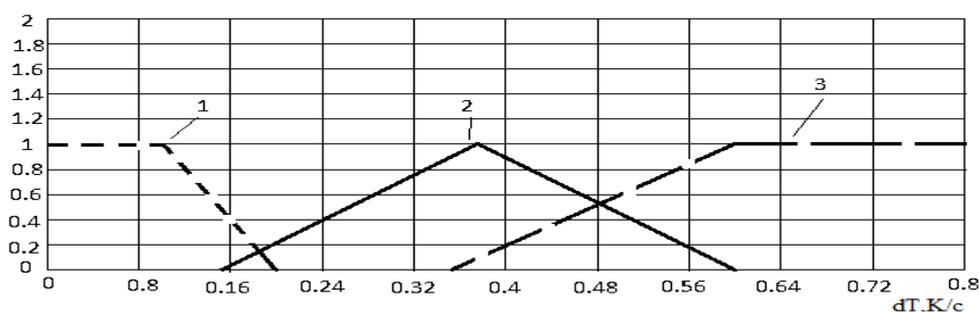


Рис. 2. Функции принадлежности переменной "производная температуры":
1 - низкая; 2 – средняя; 3 - высокая

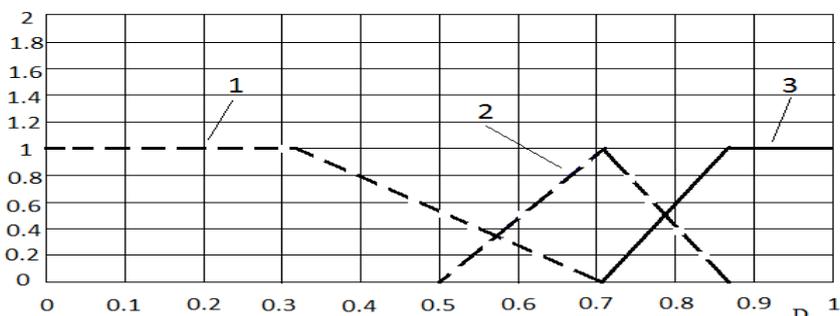


Рис. 3. Функции принадлежности переменной "коэффициент заполнения":
1 – низкий; 2 – средний; 3 - высокий

Перейдем к рассмотрению механизма нечеткого вывода. Механизм нечеткого логического вывода в своей основе имеет базу знаний, формируемую специалистами предметной области в виде совокупности нечетких правил.

База знаний нечеткого регулятора состоит из восьми правил:

1. Если T есть "Низкая", то D есть "Высокая".
2. Если T есть "Средняя" и dT есть "Низкая", то D есть "Высокая".
3. Если T есть "Средняя" и dT есть "Средняя", то D есть "Средняя".
4. Если T есть "Средняя" и dT есть "Высокая", то D есть "Средняя".
5. Если T есть "Высокая", то D есть "Низкая".
6. Если T есть "Норма" и dT есть "Средняя", то D есть "Низкая".
7. Если T есть "Норма" и dT есть "Высокая", то D есть "Низкая".
8. Если T есть "Норма" и dT есть "Низкая", то D есть "Низкая".

Логический вывод осуществляется за следующие четыре этапа.

1. Введение нечеткости (фаззификация, fuzzification).

Для четко заданных входных значений рассчитываются принадлежности к отдельным термам.

Для рассматриваемого примера определяют численные значения

$$\mu_{A_i}(x_0), \mu_{B_i}(y_0), \quad i = 1, 2, \dots$$

2. Нечеткая импликация. Находят функции принадлежности предпосылок каждого отдельного правила при конкретных входных сигналах x_0 и y_0 .

$$\alpha(i) = \mu_{A_i}(x_0) \cap \mu_{B_i}(y_0) \quad i = 1, 2, \dots$$

Затем находят результирующие функции принадлежности каждого правила

$$\mu_i(z) = \alpha_i \cap \mu_{C_i}(z_0) \quad i = 1, 2, \dots$$

3. Нечеткая композиция. Находится результирующая функция принадлежности всей совокупности правил при входных сигналах x_0 и y_0 .

$$\mu_{\Sigma}(z) = \mu_1 \cup \mu_2 \cup \dots \cup \mu_n.$$

4. Приведение к четкости (дефаззификация, denazification).

Имеется большое количество методов дефаззификации, но в данном случае был использован метод первого максимума. Метод заключается в том, что ищется наименьшее значение аргумента функции-решения, при котором она принимает наибольшее значение. Иными словами, ищется такой аргумент, при котором функция принимает наибольшее значение первый раз.

В приведенном алгоритме логические операции пересечение реализуется как \min , а объединение – как \max , то данный алгоритм называется алгоритмом Мамдани (в некоторых источниках алгоритмом Мамдани-Заде).

Для настройки регулятора была создана программа моделирования, написанная на языке Mathcad в программе Mathcad. Программа эмитирует реакцию в реакторе при заданных условиях и действии регулятора.

Моделирование производилось для нагревателей мощностью 1 кВт, 1.5 кВт, 2 кВт. Стандартная загрузка составляет 40 моль вещества. Результаты представлены на рис. 6.

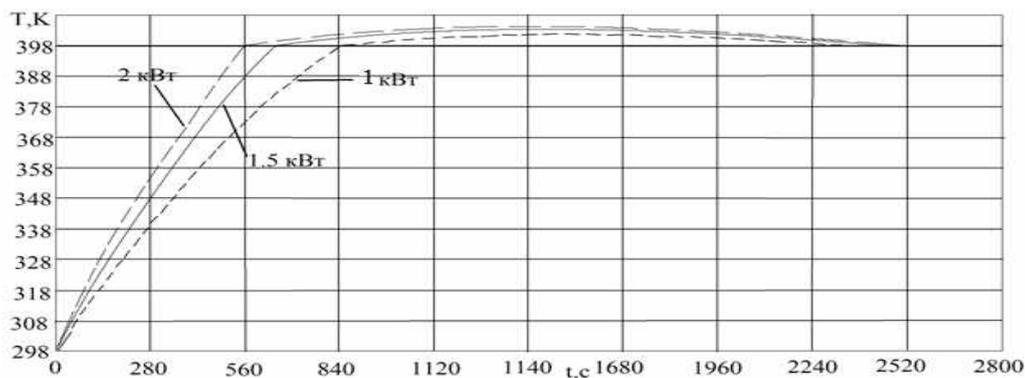


Рис. 4. Переходный процесс при различных мощностях нагревателя (загрузка 70 моль)

При загрузке 10 и 40 моль перерегулирования не наблюдается. При загрузке 70 моль имеет место перерегулирование 5 К.

Выводы

В результате моделирования определено, что алгоритм управления на основе нечеткой логики не только позволяет обеспечить заданные параметры технологического процесса, но и сохранить приемлемые параметры точности и быстродействия объекта регулирования. Регулятор показал неплохую устойчивость к изменению параметров объекта управ-

ления без переналадки. Во всех исследованных случаях температура не выходила за пределы допуска в 7К.

Данный алгоритм регулирования позволяет управлять процессом с заданной точностью и имеет достаточное быстродействие, а также может быть реализован в виде управляющей программы для ЭВМ без особых сложностей.

Библиографический список

1. **Закгейм, А.Ю.** Введение в моделирование химико-технологических процессов / А.Ю.Закгейм. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1982. – 288 с.
2. **Кузьменко Н.Е.** Краткий курс химии: пособие для поступающих в вузы / Н. Е. Кузьменко. – М.: Химия, 1982.
3. **Заде, Л.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: [пер. с англ.] / Л. Заде; под ред. Н. Н. Моисеева. – М.: Мир, 1976. – 164 с.
4. **Штовба, С.Д.** Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
5. **Борисов, А.Н.** Принятие решений на основе нечетких моделей / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Зинятие, 1990. – 184 с.
6. **Усков, А.А.** Интеллектуальные системы управления на основе методов нечеткой логики / А.А.Усков, В.В.Круглов. – Смоленск: Смоленская городская типография, 2003. – 177 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

A. V. Kalyashina, A. V. Kocherov

APPLICATION OF THE FUZZY CONTROL ALGORITHM IN ALUMINUM SULFATE PRODUCTION

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev

The article describes the process of automation of experimental station for aluminum sulfate production using the fuzzy control algorithms. A mathematical model of the chemical reaction process with relation to thermal balance is set up. The fuzzy regulation algorithm is synthesized. The set up algorithm allows maintaining the temperature of the exothermic interaction in the batch reactor. A modeling programme for the regulator adjustment is written in Mathcad in the Mathcad language. The programme imitates the reaction in the reactor at the set up conditions and operation of the regulator (controller). It is defined as a result of the modeling that the control algorithm based on the fuzzy logics not only allows to ensure the set up parameters of the technological process, but also to maintain the usable parameters of accuracy and operation speed of the controlled object. The controller showed good resistance to changes of the controlled object parameters with no readjustment.

Key words: fuzzy logics, chemical industry processes controlling, aluminum sulfate, adaptive control.

УДК 621.791.9

И.К. Козлов¹, Д.Г. Сироткин²

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ АНОДНОЙ СВАРКИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО «АБАИР», Нижний Новгород²**Цель работы:** Разработка технологии и оборудования для изготовления компонентов МЭМС, что позволит обеспечить их отечественное производство и увеличить процент выхода годных изделий.**Методология:** Достижение поставленной цели предполагает проведение исследований процесса анодной сварки, изучение влияния параметров процесса на качество сварки.**Результат:** Представлены результаты оптимизации технологического процесса анодной сварки пластин кремний-стекло, разработана и изготовлена опытно-промышленная установка анодной сварки компонентов МЭМС.**Новизна:** Разработанная технология и изготовленная установка дают возможность проведения широкого круга исследований по данной тематике.*Ключевые слова:* микроэлектроника, МЭМС, анодная сварка, кремний, стекло, пирекс.

За последние годы в области микроэлектромеханических систем (МЭМС) и соответствующих технологий достигнуты значительные успехи. Выпуск компонентов на основе МЭМС достиг уровня порядка \$10 млрд в год.

МЭМС находят широкое применение в автомобильной электронике, бытовой технике (смартфоны, ноутбуки и др.), приборах специального назначения: медицинском оборудовании, военной и аэрокосмической технике, системах управления и мониторинга и т.д.

Основу ряда МЭМС составляет двухслойный пакет пластин кремний-стекло, полученный методом анодной сварки (anodic bonding). Наиболее распространен вариант сварки по всей поверхности пластин толщиной 0,3-3,0 мм, диаметром от 30 до 150 мм [1-7].

С промежуточным слоем стекла можно сваривать две и более кремниевые пластины, формируя многослойные пакеты. В объемах приваренных кремниевой и стеклянной пластин в пределах единичных элементов заданной формы и размеров (несколько мм) формируются соответствующие структуры. В дальнейшем производится разделительная резка на отдельные элементы.

Сущность процесса анодной сварки [1-7] заключается в сжатии пластин из кремния и стекла, их нагрев до температуры (200÷550) °С и приложения электрического напряжения 200÷2000 В постоянного тока (так называемое анодное напряжение) (рис. 1).

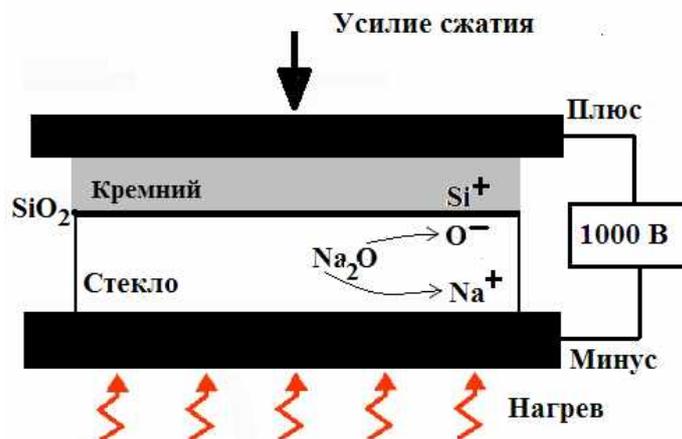


Рис. 1. Принципиальная схема процесса анодной сварки

При нагреве происходит расщепление оксидов натрия в стекле, под воздействием электрического поля, положительно заряженные ионы щелочных металлов перемещаются от границы соприкосновения с пластиной кремния, тем самым оставляя на границе слой, обогащенный кислородом, который вступает в реакцию с кремнием, окисляя его. Это процесс необратимый, связь между стеклом и кремнием реализуется без промежуточного слоя, так называемая анодная связь. Критерием оптимальности технологического процесса является качество образующегося окисла кремния и его толщина, определяющие прочность сварного соединения при испытании на сдвиг.

Оборудование для анодной сварки компаний EVG, SUSS и ряда других зарубежных фирм, ориентировано под конкретные изделия, требует высокоспециализированного сервиса со стороны производителя и малодоступны для большинства российских предприятий.

Процесс анодной сварки весьма сложен и имеет множество нюансов, поэтому изучение процесса сварки, разработка и изготовление сварочного оборудования являются крайне актуальными задачами для российской нано- и микроэлектроники, что позволит расширить отечественное производство МЭМС компонентов и увеличить процент выхода годных изделий.

Стекло должно обладать умеренно проводящими свойствами, что обеспечит возникновение области объемного заряда, и иметь коэффициент теплового расширения, близкий к коэффициенту теплового расширения кремния как в рабочем диапазоне температур МЭМС, так и в температурном диапазоне технологической операции анодной сварки.

Данным требованиям соответствует боросиликатное стекло типа «Pyrex», стекла Borofloat, Corning 7740, HOYA SD-2 и ряд других [4].

Несоответствие коэффициентов расширения вызывает растрескивание пластин, преимущественно, как показали проведенные исследования, при охлаждении. Однако высокая температура нагрева более 500 °С и скорость охлаждения более 20 °С/мин даже для стекол типа «Pyrex» способствует растрескиванию. Растрескиванию также способствует неравномерный характер окружающего температурного поля при поднятом верхнем электроде.

Проведенные исследования показали, что охлаждение сваренного пакета пластин необходимо производить в условиях, соответствующих условиям сварки, т.е. не снимая сварочного усилия (сохраняя контакт с верхним электродом) до достижения температуры на нижнем электроде 70-80°С. Целесообразно сохранять неизменным приложенное анодное напряжение в процессе охлаждения изделия до 100 °С.

Для формирования качественного сварного соединения необходим нагрев до температуры, существенно меньшей, чем точка размягчения стекла, но обеспечивающей распад оксида натрия на ионы. По данным литературных источников [2,5,7] и результатам проведенных исследований, оптимальное значение температуры для стекла типа «Pyrex» лежит в пределах 350-450 °С.

Исследования показали, что получение качественной сварки возможно только для очищенных от загрязнений и пыли свариваемых поверхностей, необходима обработка поверхностей в течение 5 мин в водном растворе H₂SO₄, в соотношении 1:2,5 объемных долей [4].

Необходимо учесть следующие требования:

- а) пластины толщиной 0,3–3,0 мм, должны иметь разброс по толщине в пределах ± 20 мкм, неплоскостность поверхностей в пределах +/- 2мкм;
- б) шероховатость свариваемых поверхностей не более 0,1-1,0 мкм;
- в) изгиб и коробление пластины не должны быть более 30 мкм;
- г) наличие технологической зоны по периферии пластин размером не менее 5-10 мм.

Известно, что высокое напряжение (свыше 1500 В) разрушает полупроводниковые элементы на поверхности кристалла [1, 3], соответственно оно должно иметь минимально возможное значение. Значение анодного напряжения зависит от температуры, температура, в свою очередь, зависит от марки, размеров и толщины стекла: чем толщина и размеры стекла больше, тем выше температура [5]. Исследования показывают, что нижний предел режима сварки пластин толщиной 0,3÷1,0 мм составляет 350 °С, 250 В.

Важным фактором является характер приложения анодного напряжения. Результаты проведенных исследований и результаты, приведенные в работе [2], показывают, что приложение высокого значения анодного напряжения приводит пусть и кратковременному, но высокому по значению (до 30 мА и выше) броску тока, пиковый ток приводит к дефектам сварного соединения. Целесообразно ступенчатое повышение напряжения от нуля при достижении температуры 300 °С. Количество ступеней повышения напряжения не менее трех (25%, 60%, 100% от номинального значения с интервалом 1-2 мин). Это особенно важно в случае применения анодного напряжения 750 В и выше.

Анодную сварку можно проводить как в условиях атмосферного давления, так и в условиях вакуума, но более качественные соединения получаются при сварке в вакуумной камере [1-7]. Результаты исследований и обзор литературных данных [7] показывают, что вакуум 0,1 мбар (10 Па) является достаточным. Более высокая степень откачки не только усложняет конструкцию вакуумной системы, но и способствует возникновению дугового разряда, что приводит к шунтированию сварочного тока. Качественная изоляция вводов токоподводящих проводов, отсутствие свободных от контакта с пластинами участков электродов – обязательное требование к конструкции сварочной установки.

Исследования показали, что возрастание тока в цепи высокого напряжения свыше 5-10 мА с большой вероятностью свидетельствует о возникновении дугового разряда в вакууме в так называемой диффузной форме, характеризующейся довольно размытым столбом по вакуумной камере, по внешнему виду похожим на столб тлеющего разряда. Процесс сварки при этом становится нестабильным и слабоуправляемым, энергия в большей мере расходуется на поддержание дугового разряда, а не на процесс формирования сварного соединения. Данный процесс требует дополнительного исследования, внимание следует обратить на работу [8]

Исследования производились на экспериментальных образцах: стеклянных пластинах диаметром 76 мм и толщиной 3,0 мм, кремниевых пластинах – диаметром 60 и толщиной 0,3 мм. Проверка качества производилась испытанием на сдвиг кремниевой пластины относительно стеклянной подложки. На начальном этапе сварка производилась вне вакуумной камеры, в атмосферных условиях. После изготовления опытно-промышленной установки исследования производились в вакуумной камере с остаточным давлением 50 Па.

Длительность выдержки при заданной температуре определяется значениями температуры и анодного напряжения. При температуре 450 °С длительность составляет 30-40 мин при анодном напряжении 700 В и 10 мин при 1200 В (давление в камере 30-50 Па, усилие прижима 1500 Н). Существенное влияние на качество сварки оказывает циклограмма приложения анодного напряжения, скорости нагрева и охлаждения зоны сварки. Процесс требует непрерывного контроля, в первую очередь за значением сварочного тока. Превышение значения сварочного тока свыше 5 мА с большой долей вероятности свидетельствует о шунтировании сварочного тока дуговым разрядом, причиной возникновения которого может служить и растрескивание пластин.

При разработке сварочной установки исходили из следующих этапов процесса:

- 1) установка и фиксация свариваемых пластин в сборочном приспособлении;
- 2) установка в вакуумной камере на нижнем электроде по упорам и фиксаторам (через дверцу посредством роликового транспортера) приспособления, с установленными на нем соединяемыми пластинами;
- 3) закрытие дверцы входа в камеру, посредством эксцентрикового прижима;
- 4) выполнение цикла сварки (откачка; нагрев; приложение сжимающего усилия, подача высокого напряжения, выдержка в течение заданного времени, отключение нагрева, наддув воздуха или азота, отключение высокого напряжения);
- 5) после окончания цикла сварки, открывается дверца и извлекается приспособление с изделием, производится внешний осмотр и съем изделия с приспособления.

Для реализации процесса была разработана и изготовлена установка анодной сварки (рис. 2), состоящая из следующих узлов.

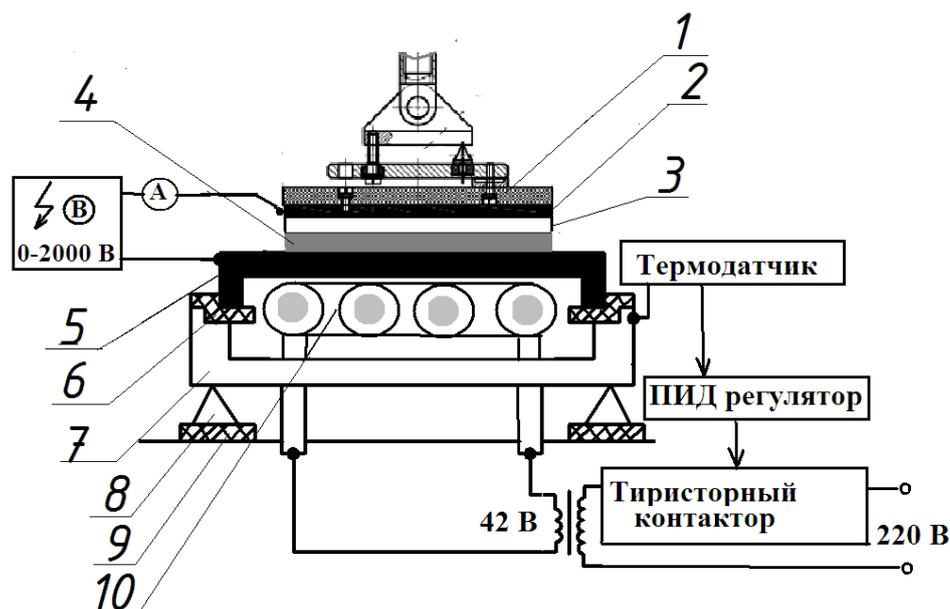


Рис. 2. Принципиальная схема установки анодной сварки:

1, 6, 9 – изолятор; 2 – верхний электрод (минус); 3 – стеклянная пластина; 4 – кремниевая пластина; 5 – нижний электрод (плюс); 7 – поддон; 8 – опора; 10 – ТЭН

1. Система размещения свариваемых деталей и их нагрева, включает в себя поддон, в котором размещен ТЭН-нагреватель и нижний электрод, выполненный из медного сплава, что обеспечивает равномерность нагрева установленном на нем приспособлении с пластинами. Нижний электрод обеспечивает также подвод положительного потенциала высокого напряжения к кремниевой пластине, поэтому он крепится к нагревательному столику через изолятор.

Верхний электрод, также выполненный из медного сплава, обеспечивает подвод отрицательного потенциала к стеклянной пластине (размещаемой на кремниевой). Через изолятор верхний электрод крепится к штоку пневмоцилиндра, обеспечивающего сжатие пластин.

2. Вакуумная камера, в которой осуществляется процесс сварки, и поддерживаются заданные (программируемые) параметры процесса. Камера круглая со съемной верхней крышкой, используемой только при сборке и ремонте, а также дверцей без окна, с вакуум-плотным резиновым уплотнением и эксцентриковым замком.

3. Вакуумная система откачки и наддува размещается в нижней части станины и состоит из вакуумного насоса, вакуумметра, электропневмоклапана с регулируемой подачей на напуск азота, а также штуцера подключения трубопровода системы вакуумирования, напуска и откачки газа. Система предназначена для откачивания камеры до заданного остаточного давления (формирование вакуума в камере) и поддержания его на протяжении всего цикла сварки. Выбор компонентов устройства основывался на возможности откачивания камеры от атмосферного давления до остаточного давления 1 Па.

Исходя из требований обеспечения минимизации газовыделения, а также обеспечения достаточной механической и термической прочности для изготовления составных частей камеры предпочтительным является отожженная при 420 °С в вакууме коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т. К камере через патрубок подсоединен мембранный клапан безопасности срабатывающий при превышении давления в 2 бара в камере. После завершения сварочного процесса камера вентилируется с помощью клапана напуска.

4. Пневматический механизм нагружения, обеспечивающий сжатие соединяемых пластин с заданным усилием.

5. Система подачи и управления высоким напряжением, реализованная на базе блока питания компании ULTRAVOLT.

6. На станине размещен блок управления, на лицевой панели которого в размещены система управления откачкой и наддувом, система управления нагревом, система управления подачей высокого напряжения, таймер. На лицевой панели управления также размещены кнопки включения вышеуказанных устройств, а также амперметр, показывающий значение сварочного тока в цепи нагрева. В нижней части камеры размещаются элементы системы откачки и напуска, штуцер подключения трубопровода вакуумного насоса, трансформатор системы нагрева.

На стадии приемо-сдаточных испытаний для ограничения тока в цепи высокого напряжения значением 26 мА, (при напряжении 1200 В) в цепи высокого напряжения установлено ограничительное сопротивление 46 кОм.

Основой системы управления нагревом является ПИД регулятор МЕТАКОН-315. На поддоне, в котором размещен ТЭН с напряжением питания 42 В устанавливается термопара ТП ХА (К). Так как термопара установлена не на нижнем электроде, а на поддоне, была разработана таблица пересчета температур. Обеспечена изоляция верхнего и нижнего электродов, нагревательного столика от корпуса вакуумной камеры, высокая степень изоляция цепи нагрева столика. Подвод высокого напряжения осуществляется непосредственно к верхнему и нижнему электродам. Обеспечена изоляция рабочей части прижима, (верхнего бронзового электрода) непосредственно контактирующей с поверхностью верхней детали и осуществляющей сжатие деталей и подвод высокого напряжения.

На рис. 3 представлена фотография разработанной и изготовленной опытно-промышленной установки анодной сварки.



Рис. 3. Опытно-промышленная установка анодной сварки

Выводы

1. Проведенные исследования позволили разработать рекомендации по оптимизации технологического процесса анодной сварки, как применительно к значениям основных параметров режима, так и циклограмме процесса. Важным фактором является характер приложения анодного напряжения. Целесообразно ступенчатое повышение напряжения от нуля при достижения температуры 300°C. Количество ступеней повышения напряжения не менее трех (25%, 60%, 100% от номинального значения с интервалом 1-2 мин). Это особенно важно в случае применения анодного напряжения 750 В и выше.

2. Проведенные исследования показали, что охлаждение сваренного пакета пластин

необходимо не снимая сварочного усилия (сохраняя контакт с верхним электродом) до достижения температуры на нижнем электроде 70-80°C. Целесообразно сохранять неизменным приложенное анодное напряжение в процессе охлаждения изделия до 100 °С

3. Проведенные исследования обеспечили разработку технического задания и на его базе изготовление опытно-промышленной установки анодной сварки. Разработанная установка дает возможность проведения широкого круга исследований по данной тематике.

Библиографический список

1. **Баринов, И.Н.** Конструктивно – технологические решения чувствительных элементов датчиков абсолютного давления / И.Н. Баринов, В.С. Волков, Н.П. Кривулин // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2008. Т. 1. С. 95–98.
2. **Медведев, Е.И.** Анодная сварка пластин для МЭМС применений // Степень интеграции. 2009. №1. С. 18–23.
3. **Хохлун, А.** Оборудование и технологии для производства МЭМС, микро – и наноструктур // Степень интеграции. 2009. №1. С. 14–16.
4. **Тимошенко, С.П.** Методы сборки и монтажа макетных образцов микроэлектромеханических систем / С.П. Тимошенко, А.Н. Бойко, Б.М.Симонов // Известия вузов. ЭЛЕКТРОНИКА. 2010. № 4(84). С. 58–63.
5. **Борзов, А.Б.** Термически изолированные ячейки в конструкциях преобразователей физических величин изготовленные электростатической анодной посадкой полупроводниковых и диэлектрических элементов / А. Б. Борзов [и др.] // Наука и образование. Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. Эл №ФС77-48211. С. 243–258.
6. **Телец, В.А.** Изготовление трехмерных МЭМС методами термокомпрессионной сварки / В.А. Телец, Ю.С. Негина, А.А. Орлов // Микропроцессорная техника. 2004. №3. С 2–7.
7. С.С.Tripathi, Sharuti Jain, Powan Joshi. Development of low cost set up for anodic bonding and its characterization // Indian Journal of Pure & Applied Physics/. 2008. V. 46. P. 738–743.
8. **Неровный, В.М.** Способы стабилизации и управления тепловыми характеристиками дугового разряда при пайке в вакууме // Сварка и диагностика. 2013. №2. С. 34–39.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

I. K. Kozlov¹, D. G. Syrotkin²

STUDIES AND DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF ANODIC WELDING

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev¹,
ОАО “АВАИР”, Nizhny Novgorod²

Purpose: Development of technology and equipment for MEMS (microelectromechanical systems) components production. This will allow domestic production of the latter and an increase of the product yield ratio.

Methodology: Achievement of the set purpose suggests a research on anodic welding process and a study of the influence of the process parameters on the welding quality.

Results: The results of the technological process of silicon-glass plates anodic welding optimization are presented. A pilot unit for anodic welding of MEMS components is developed and produced.

Novelty: The developed technology and the produced unit enable a wide range of research on this matter.

Key words: microelectronics, MEMS, anodic welding, silicon, glass, pyrex.

УДК 621.791

И.К. Козлов¹, В.А. Алексеев²

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОГО МЕДИЦИНСКОГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ООО НПП «МОЛОТ», г. Павлово, Нижегородская область²

Цель работы: Разработка технологии и сварочного оборудования для изготовления сварного медицинского инструмента из титановых сплавов.

Методология: Достижение поставленной цели предполагает проведение экспериментальных исследований, моделирование электрического поля и термомеханического состояния свариваемых деталей методом конечных разностей.

Результат: Разработана технология процесса стыковой сварки сопротивлением и наплавки элементов медицинского инструмента и на ее основе изготовлены сварочное оборудование и оснастка. Изготовлена опытная партия сварного медицинского инструмента.

Новизна: Разработаны математические модели процессов нагрева деталей в процессе наплавки и термомеханического состояния деталей в процессе стыковой сварки сопротивлением, что обеспечило возможность моделирования указанных процессов.

Ключевые слова: титан, сварка, наплавка твердым сплавом, медицина, хирургия, инструмент.

Антикоррозионные свойства титана, биологическая инертность по отношению к живому организму, низкая удельная плотность способствуют все более широкому применению сплавов на его основе для изготовления медицинского инструмента. Титан по своей коррозионной стойкости не уступает платине во многих агрессивных средах. По сравнению со сталью, масса инструмента может быть уменьшена в полтора - два раза, существенно снижается травматичность при хирургических операциях. Титан - немагнитный материал, благодаря этому для лечения больных, у которых в теле есть титановые конструкции, можно использовать физиотерапию, и т.п. Все эти качества делают данный металл очень перспективным для широкого применения в медицине [1].

Велика потребность в хирургических инструментах широкой номенклатуры, в том числе специализированного инструмента сложной конфигурации малыми сериями.

Решение данной задачи при минимизации сроков изготовления и стоимости, видится в составном инструменте, при максимальном использовании типовых узлов [2] и, в частности, кольца (рис. 1).



Рис. 1. Медицинский хирургический инструмент

Действующий техпроцесс изготовления медицинского инструмента из титановых сплавов ориентирован на получении заготовок с очень большими допусками из прутка диаметром 15-20 мм нагретого до температуры 950-1100 °С операциямиковки и вырубкив открытых штампах.

Процесс характеризуется низким коэффициентом использования металла, высокой сложностью и трудоемкостью операций доводки инструмента вручную на шлифовальных машинах до заданной формы и размеров.

Расчленение конструкции инструмента позволит расширить номенклатуру изделий и их модификаций, при уменьшении количества, упрощении и повышении стойкости используемых дорогостоящих штампов и оснастки.

Титан не обладает достаточно высокими твердостью и режущими свойствами, что затрудняет его широкое применение в медицинском хирургическом инструментарии. Придание титану режущих свойств и повышение его твердости и жесткости возможно наплавкой твердого сплава на рабочие, в том числе режущие, кромки инструмента.

Из вариантов расчленения инструмента наиболее рационален вариант изготовления рычага с последующей наплавкой твердого сплава на его рабочую поверхность, изготовление кольца, которое затем методом сварки соединяется с рычагом (рис. 2).



Рис. 2. Схема сварного медицинского инструмента:

1 - рычаг; 2 - кольцо; 3 - пластина из твердого сплава; 4 - припой

Реализация проекта по разработке сварного инструмента с наплавкой на рабочую поверхность сплава со специальными свойствами позволит обеспечить «сплошность» инструмента, устранив наличие зазоров в местах соединения, что неизбежно при прессовой посадке и применении заклепок.

Для достижения поставленных целей решались следующие основные задачи:

1. Оптимизация расчленения инструментов (по группам номенклатуры) на типовые узлы, изготовление которых потребует существенно меньших затрат для их производства, по сравнению с вариантом изготовления цельных изделий.

2. Выбор методов и разработка оптимальной технологии изготовления типовых узлов (штамповка, гидроабразивная резка, электрохимия и т.д.).

3. Выбор вида сварки, наплавки, разработка технологии процессов подготовки деталей под сварку, наплавку, процессов сварки и наплавки, приборов и методов контроля качества, обработки полученных соединений (зачистка, удаление грата и т.д.).

4. Разработка математической модели и моделирование технологических процессов с целью их оптимизации.

5. Разработка технического задания на сварочное оборудование, оснастку и их изготовление.

В результате проработки типовых конструкций медицинского инструмента наиболее технологичным признан вариант отдельного изготовления универсального кольца методом высокопроизводительной 3D-гидроабразивной резки из листа и широкой номенклатуры рычагов как методом горячей штамповки из прутка, так и методом 3D-гидроабразивной резки из листа.

3D-гидроабразивная резка обеспечит:

- отсутствие термического воздействия на материал;
- высокую точностью резки материала толщиной от 1 мм с погрешностью 0,1 мм;

- высокое качество обработки материалов, в том числе резка под любым углом, скругление кромок и сопряжённых радиусов, полировка и шлифовка сложных поверхностей;
- относительно невысокую стоимость процесса резки.

Для соединения кольца с рычагом наиболее целесообразно применение контактной стыковой сварки сопротивлением с формированием твердофазного сварного соединения за счет интенсивной пластической деформации металла в зоне контакта свариваемых деталей. Процессу интенсивной пластической деформации предшествует стадия интенсивного локального тепловыделения в зоне контакта свариваемых деталей,

Длительность процесса составляет порядка одной секунды, формирование сварного соединения происходит в твердой фазе, без образования жидкой фазы, что делает возможность производить процесс сварки без обдува защитным газом, в воздушной среде.

Установка сварки сопротивлением и соответствующий техпроцесс существенно проще, чем в случае контактной сварки оплавлением, сопровождающийся интенсивным искрообразованием, необходимостью в защитной газовой среде, сложностью оборудования [3, 4].

Технология и сварочное оборудование разрабатывались применительно к площади сварного соединения площадью не более 50 кв. мм (условный диаметр рычага до 8 мм).

На рис. 3 представлена электродная оснастка разработанной сварочной установки, на рис. 4 – полученное сварное соединение, в том числе после испытания на загиб.

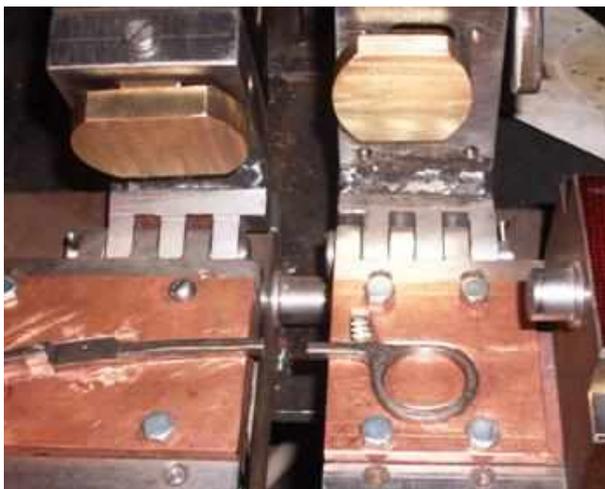


Рис. 3. Электродная оснастка



Рис.4. Сварное соединение

Оптимизация технологии процесса контактной стыковой сварки сопротивлением и разработка на ее основе сварочного оборудования и оснастки производились как на основе экспериментальных исследований, так и с использованием моделирования процесса сварки на основе разработанной математической модели [5], включающей в себя подмодели электрического поля, температурного поля и подмодель процесса пластической деформации, которые рассматривались во времени последовательно, что позволило учесть их взаимосвязь. Моделирование процесса производилось методом конечных разностей для принятой линейной модели.

Экспериментальные исследования процесса сварки производилось с применением регистратора техпроцесса «МРС» [6].

Установлено, что процесс сварки следует разделить на три этапа (рис. 5). Первый – длительностью порядка 0,5–0,7 с, в течение которого имеет место процесс нагрева, с преимущественным тепловыделением в зоне контакта рычаг-кольцо. На данном этапе наблюдается стабильное значение, как сварочного тока, так и падения напряжения в зоне сварки. Интенсивная пластическая деформация в зоне сварки отсутствует, прекращение процесса сварки на данном этапе не обеспечивает получение сварного соединения.

На втором этапе имеет место интенсивная пластическая деформация в зоне сварки с

выдавливанием перегретого металла в грат, продолжительностью 0,2–0,3 с. Этап пластической деформации сопровождается возрастанием сварочного тока и уменьшением падения напряжения в зоне сварки.

Третий этап характеризуется завершением процесса осадки и стабилизацией значений сварочного тока и напряжения. По достижении третьего этапа процесс сварки необходимо завершить, не допуская перегрева зоны сварки.

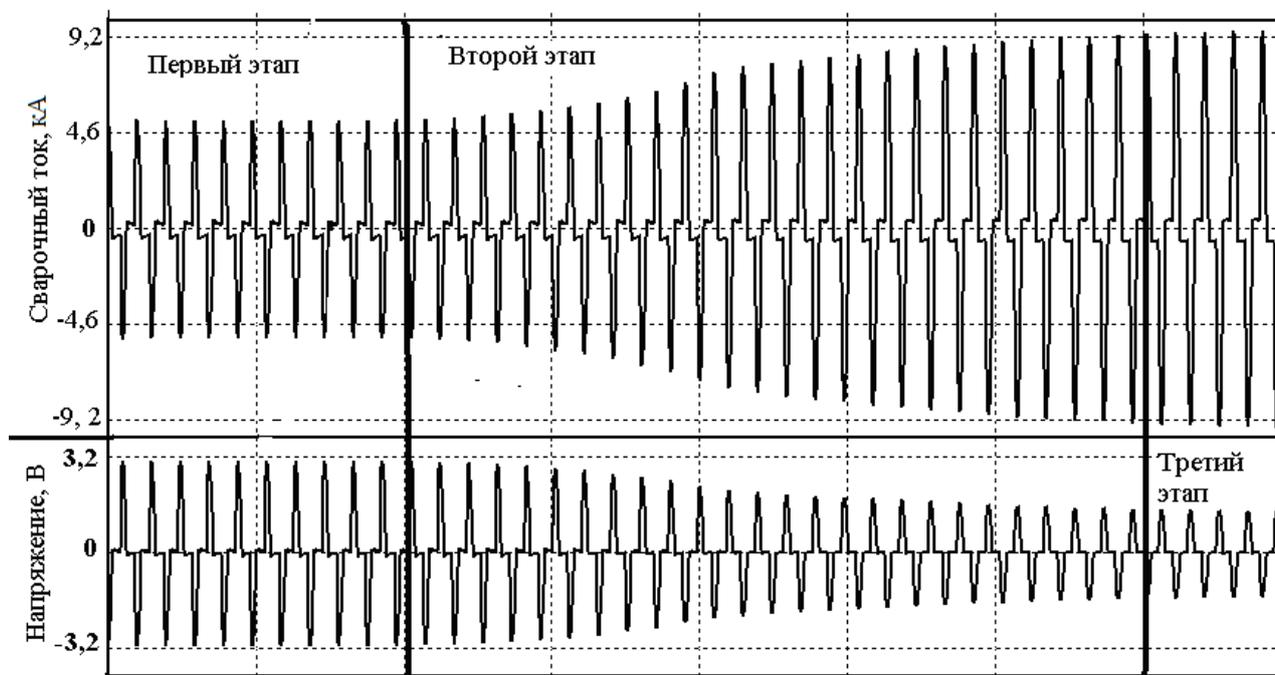


Рис. 5. Регистрограмма процесса сварки

Наплавка (сварка) по методу А.М. Игнатьева широко применяется в инструментальном производстве для наплавки твердого сплава [3].

Основной задачей при известной конфигурации изделия является не только выбор режима сварки, но и оптимизация конструкции электродной оснастки. При этом методе электрический ток протекает параллельно плоскости соединения, нагревая и расплавляя тонкий слой фольги-припоя.

На рис. 6, а представлена схема и конструктивные особенности электродной оснастки. Пластина 2 из твердого сплава располагается на рычаге 1, между ними размещается припой в виде фольги толщиной 0,1–0,5 мм. К пластине 2 электродами 3, 4, прижатыми усилием F подводится напряжение от машины контактной точечной сварки мощностью 20 кВА. Сварочный ток протекает между электродами по поперечному сечению пластины, припоя, рычага и частично через ложемент 6, за счет чего происходит нагрев и плавление припоя. Во избежание шунтирования тока ложемент 6 изолирован прокладкой 7 от нижней консоли сварочной машины, что обусловлено наличием контакта одного из электродов с корпусом сварочной машины.

Одной из причин образования дефектов является сложность обеспечения стабильного контакта по всей зоне контакта твердого сплава с инструментом (рис. 6, б). Так при перекосе всего на один градус зона контакта пластина-рычаг составит не более половины длины пластины. Предусмотрено применение «качающейся» опоры 8 закрепленной на нижней консоли сварочной машины, к которой через изолятор крепится ложемент (рис. 6, а).

Главной задачей при проведении процесса наплавки является равномерность прогрева зоны соединения протекающим током. Наиболее предпочтителен прогрев указанной зоны и соответственно припоя за счёт преимущественного равномерного нагрева пластины до температуры 1000–1100 °С. Для решения поставленной задачи необходимо знать характер элек-

трического поля и соответственно распределение плотности тока в межэлектродной зоне, что позволит рассчитать вариант, при котором преимущественное тепловыделение имеет место в пластине и слое припоя, а также оценить влияние краевого эффекта и возможного шунтирования сварочного тока.

На рис. 6, в представлены результаты моделирования методом конечных разностей электрического поля в указанной зоне в виде послойного распределения плотности тока вдоль плоскости сварного соединения при разбивке модели свариваемых деталей на ячейки размером 0,5x0,5 мм (плоская модель).

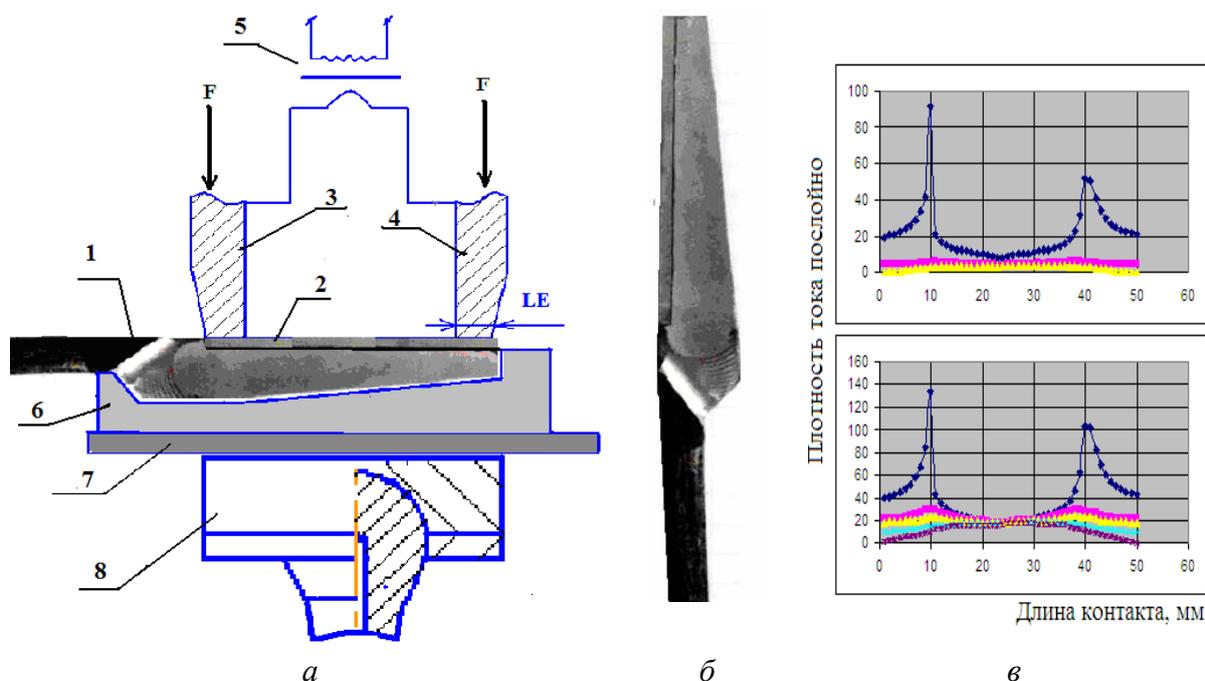


Рис. 6. Наплавка твердого сплава на рабочую поверхность:

а – электродная оснастка: 1 – рычаг; 2 – пластина; 3, 4 – электроды; 5 – сварочный трансформатор;

б – ложемент для фиксации положения рычага; 7 – изолятор; 8 – качающаяся опора;

в – рабочая часть инструмента с наплавленным твердым сплавом;

г – распределение плотности тока вдоль плоскости сварного соединения для различных вариантов конструкции и размеров контакта электрод-пластина LE

Выводы

1. Показана целесообразность изготовления сварного медицинского инструмента с наплавкой твердого сплава на рабочую поверхность.

2. Наиболее технологичным признан вариант отдельного изготовления универсального кольца методом высокопроизводительной 3D-гидроабразивной резки из листа и широкой номенклатуры рычага как методом горячей штамповки из прутка, так и методом 3D-гидроабразивной резки из листа.

3. Для соединения кольца с рычагом наиболее целесообразно применение контактной стыковой сварки сопротивлением с формированием твердофазного сварного соединения за счет интенсивной пластической деформации металла в зоне контакта свариваемых деталей.

4. Оптимизация технологии процесса стыковой сварки сопротивлением проведена с применением как экспериментальных исследований с регистрацией параметров процесса, так и моделированием процесса сварки.

5. Наплавку твердого сплава на рабочую поверхность предлагается производить по методу Игнатьева. Для оптимизации процесса произведены расчеты методом конечных раз-

ностей характера распределения плотности тока и соответственно характера нагрева и плавления припоя.

Библиографический список

5. **Братухин, А.Г.** Штамповка, сварка, пайка и термообработка титана и его сплавов / А.Г.Братухин, Ю.Л.Иванов, Б.Н. Марьин. – М.: Машиностроение, 1997. – 600 с.
6. Пат. на полезную модель №:114831. Хирургический инструмент / Алексеев В. А. Дата публикации: 20 Апреля, 2012.
7. **Орлов, Б.Д.** Технология и оборудование контактной сварки: учебник для машиностроительных вузов / Б.Д. Орлов, А.А. Чакалев, А.Л. Дмитриев; под ред. Б.Д. Орлова. – М. Машиностроение, 1986. – 352 с.
8. **Чайка, В.Г.** Машина для контактной стыковой сварки ленточных пил, проволок и стержней / В.Г. Чайка, Б.И. Волохатюк, Д.В. Чайка // Автоматическая сварка. 2010. № 10. С. 53–58.
9. **Козлов, И.К.** Область применения и оптимизация технологии рельефной Т-образной сварки // Фундаментальные исследования. 2013. № 11 (Ч. 5). С. 875–879.
10. **Козлов, И.К.** Особенности мониторинга процесса сварки и состояния сварочного оборудования // Сварка и диагностика. 2013. № 4. С. 59–62.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

I. K. Kozlov¹, V. A. Alekseev²

WELDED MEDICAL INSTRUMENT OF TITANIUM ALLOYS PRODUCTION TECHNOLOGY OPTIMIZATION

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeev¹,
ООО НПП “МОЛОТ”, Pavlovo, Nizhegorodskaya Region²

Purpose: Development of technology and welding equipment for welded medical instruments of titanium alloys production.

Methodology: Achievement of the set purpose suggests experimental studies, modeling of electrostatic field and thermal deformation conditions of welded pieces using the finite differences method.

Results: The technology for resistance butt welding and deposition (overlay) of medical instruments parts and elements is developed, and welded equipment and inventory have been produced on its basis. A test batch of the welded medical instrument has been produced.

Novelty: Mathematical models for the heating of pieces during the deposition process as well as for the thermal deformation state of pieces at resistance butt welding process have been developed, thus enabling the specified processes modeling.

Key words: titanium, welding, hard facing alloy, medicine, surgery, instruments.

УДК 621.97

С.В. Кузнецов

**ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ НА КАЧЕСТВО ДЕТАЛЕЙ,
ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДАМИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрен вопрос оценки влияния поперечных сил, возникающих при выполнении операций листовой штамповки, на точность и качество деталей. Представлена методика определения смещения рабочих частей штампа под действием поперечных сил.

Ключевые слова: обработка металлов давлением, листовая штамповка, поперечные силы, точность, качество деталей.

Повышение точности заготовок, получаемых методами обработки металлов давлением, снижение трудоемкости, повышение надежности кузнечно-прессового оборудования и штамповой оснастки и, как следствие, снижение себестоимости изготовления детали – одна из основных задач современного машиностроения.

Как было установлено в работах [1, 2 и др.], при выполнении операций обработки давлением возникают поперечные силы от технологической операции и перекоса ползуна прессы, воздействующие на штамповую оснастку и кузнечно-прессовое оборудование. Можно предположить, что вне зависимости от причин возникновения в большинстве случаев ухудшаются условия работы штамповой оснастки, а также снижается точность получаемых деталей и стойкость штампов.

Наиболее важным показателем качества штампованных деталей является их точность. Согласно [3], точность листовых штампованных деталей зависит от следующих факторов:

- 1) упругих и пластических свойств материала;
- 2) неоднородности (анизотропии) листового металла;
- 3) геометрических размеров деталей;
- 4) типа штампа и способа фиксации заготовки;
- 5) структуры технологического процесса (количество и последовательность операций);
- 6) степени деформации;
- 7) точности изготовления штампа;
- 8) износа штампа;
- 9) погрешностей прессы и его настройки.

При этом наличие поперечных сил и результатов их воздействий вообще не учитывается.

Таким образом, целью данной работы является оценка влияния поперечных сил на качество деталей, получаемых методами листовой штамповки.

Воздействие поперечных сил, а также вызванных их появлением крутящих моментов на точность штамповки будет в основном проявляться в смещении осей пуансона и матрицы, приводящих к изменению зазоров между ними. Смещение верхней половины штампа относительно нижней возможно только в пределах зазора в направляющих штампов с учетом их упругих деформаций (изгиба). Зазоры в направляющих зависят от их фактического состояния (износа), типов выполняемых операций, требований, предъявляемых к качеству получаемого изделия.

Согласно [4], при трении скольжения колонки с втулками выполняют с допусками по Н6/h5 – Н7/e8 – в зависимости от технологических зазоров и условий работы штампа. Допуски по Н6/h5 применяются для прецизионных штампов. Шариковые узлы направляющих в

зоне движения пригоняются с натягом 0,01–0,015 мм. По данным ОАО «ГАЗ», зазор в замках крупных кузовных штампов устанавливается равным 0,1 мм, а для разделительных операций – принимается равным 0,8 от одностороннего зазора резания, но не более 0,1 мм.

Для различных технологических операций зазор между матрицей и пуансоном различен. Наименьшие значения он составляет для разделительных операций, например, для сталей – от 0 (без зазора) до 8 – 12% от толщины вырубаемого металла, для нержавеющей сталей – от 0,02 до 0,05 мм в зависимости от их толщины, для чистовой вырубki – до 1% от толщины металла ($\leq 0,01$ мм) [3].

Необходимость восстановления штампов обусловлена появлением дефектов получаемых заготовок (несоответствие требуемым линейных размеров, появление заусенцев, дефекты пространственной формы, поверхности и т.д.). Другими словами, деталь может быть признана годной, если ее пространственная форма, качество поверхности, линейные размеры находятся в пределах соответствующих допусков.

Можно предположить, что на стойкость штампов, кроме основных факторов, исследованных в работах [3, 4, и др.], влияет смещение частей штампа, что может приводить к более быстрому появлению брака детали (брак при не изношенной до конца оснастке), и для различных технологических операций данное влияние может различаться.

1. Для разделительных операций (вырубка, пробивка, резка) основной является линейная точность детали и качество поверхности среза

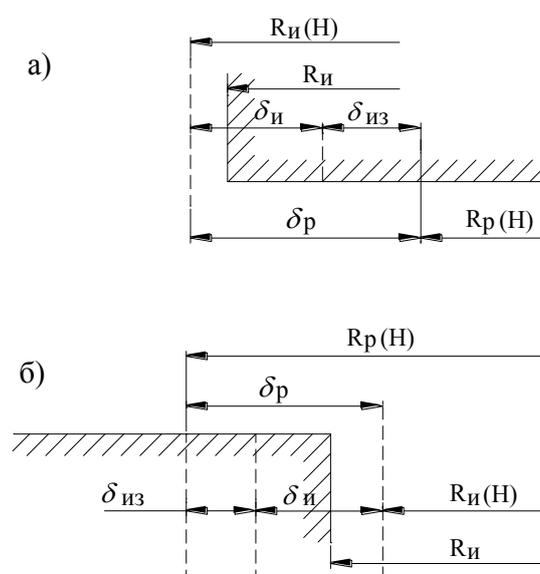


Рис. 1. Схема расположения полей допусков для разделительных операций:

a – для вырубki; *б* – для пробивki; $\delta_{и}$ – поле допусков на размер R_i (H) инструмента; $\delta_{из}$ – поле допусков на износ; δ_p – поле допусков на размер R_p (H) контура разделения

Поля допусков $\delta_{и}$ и $\delta_{из}$ связаны с полем допуска на технологический зазор между контурами, по которым располагаются режущие кромки матрицы и пуансона

Для получения годной детали в процессе эксплуатации штампа до переточки необходимо учитывать величину смещения пуансона относительно матрицы $\delta_{см}$ (см. рис. 2). Оно будет уменьшать величину допуска на износ $\delta_{из}$ (см. рис. 1) при неизменных остальных значениях допусков для уже изготовленного штампа.

$$\delta_{см} = R \cdot \cos \beta - R \cdot \cos(\beta + \alpha).$$

Для использования при расчетах данного уравнения были установлены параметры входящих в него функций.

Основным является угол α , который будет складываться из следующих составляющих:

1) перекоса верхней плиты штампа в зазорах z_K направляющих колонок и втулок:

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{z_K}{L_1},$$

2) прогиба направляющих колонок (для представленной на рис. 2 схемы):

$$\alpha_2 = \arcsin \frac{y_{\max}}{L_2},$$

где y_{\max} – прогиб одной колонки под действием результирующей горизонтальной силы P_{Γ} .

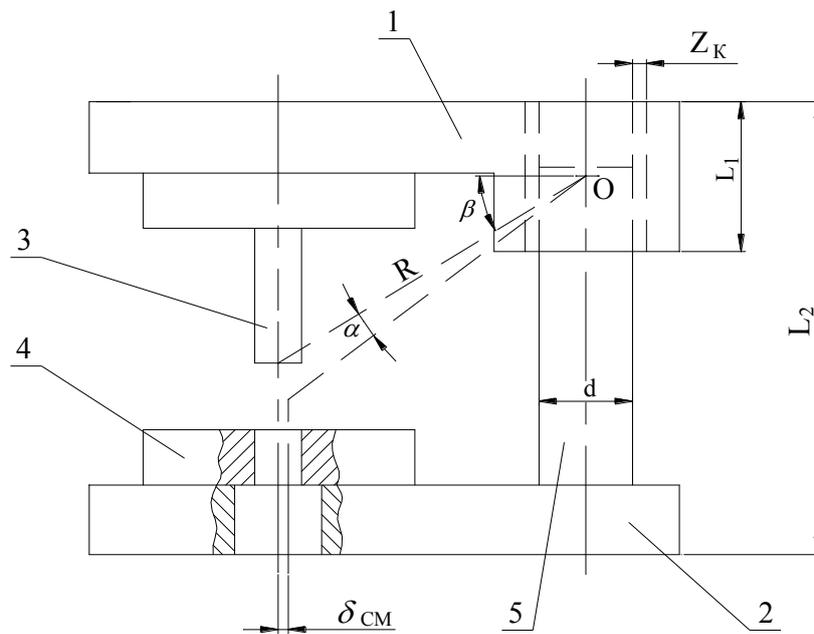


Рис. 2. Схема определения величины смещения пуансона относительно матрицы
 1 – верхняя половина штампа; 2 – нижняя половина штампа; 3 – пуансон; 4 – матрица;
 5 – направляющий узел (колонка и втулка); O – центр качения

Величина y_{\max} может быть определена по соответствующим формулам сопротивления материалов. Для рассматриваемого случая:

$$y_{\max} = \frac{P_{\Gamma} \cdot L_2^3}{3 \cdot E \cdot J_X},$$

где E – модуль упругости материала колонок,

$$J_X = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \text{ – момент инерции поперечного сечения колонки круглого сечения,}$$

где d – ее диаметр в направлении действия силы P_{Γ} ;

3) угол изгиба пуансона (α_3) под действием горизонтальной результирующей силы P_{Γ} . Определяемый угол может быть определен аналогично рассмотренному выше случаю (для соответствующей формы поперечного сечения пуансона и его размеров).

2. Для операций гибки поле отклонения кривизны от номинального значения определяется [4]:

$$\delta_{\chi_{II-O}} = \Delta\chi_{\rho} - \delta(\Delta\chi_{\rho}).$$

Поле $\Delta\chi_p$ отклонения кривизны χ_p поверхности инструмента от номинального значения задается при выборе уровня точности инструмента. Поле $\delta(\Delta\chi_p)$ отклонения приращения кривизны $\Delta\chi_p$ при разгрузке от его расчетного значения определяется

$$\delta(\Delta\chi_p) = \Delta\chi_{p\sigma} - \Delta\chi_{pM},$$

где

$$\Delta\chi_{p\sigma} = \frac{(1-\mu^2) \cdot M_{z\sigma}}{E \cdot J_{zM}},$$

$$\Delta\chi_{pM} = \frac{(1-\mu^2) \cdot M_{zM}}{E \cdot J_{z\sigma}},$$

$M_{z\sigma}$ – изгибающий момент при наибольших значениях констант кривой упрочнения и наименьших сечениях заготовки, дающих наименьший момент инерции J_{zM} , M_{zM} – изгибающий момент при наименьших значениях констант кривой упрочнения и наибольших размерах сечения, дающих максимальный момент инерции $J_{z\sigma}$.

Величина изменения смещения δ_{CM} может быть определена аналогично рассмотренной ранее схеме (рис. 2) и для других технологических операций.

В настоящее время величины смещений не рассчитываются вследствие отсутствия методики определения горизонтальных сил для выполняемых операций. Размеры направляющих узлов стандартизированы, и их количество и размеры задаются конструктором (без расчетов) равномерно распределенным по периметру штампа.

На основании представленных данных можно предположить, что количество, расположение и размеры направляющих узлов должны рассчитываться непосредственно для каждого проектируемого штампа, а применяемая методика (в условиях любого производства данного профиля) может приводить к перерасходу штамповых сталей и необоснованному укрупнению габаритных размеров штампов.

Выводы

Величина зазора между матрицей и пуансоном для разделительных операций сравнима со значением зазора в направляющих узлах штампа, хотя и меньше его.

Следовательно, наличие перекосов будет влиять на зазор и неравномерно изменять его по контуру разделения, что скажется на качестве и точности детали. Возникающая горизонтальная сила будет снижать стойкость инструмента для различных технологических операций из-за уменьшения значения допуска на изготовление детали вследствие наличия смещений. Можно предположить, что количество, расположение и размеры направляющих узлов должны рассчитываться для каждого проектируемого штампа.

Библиографический список

1. **Кузнецов, С.В.** Теоретическое определение поперечных сил, возникающих при выполнении операций обработки металлов давлением / Вестник Ижевского государственного технического университета им. М. Т. Калашникова. 2013. №4. С. 31–34.
2. **Кузнецов, С.В.** Экспериментальное определение поперечных сил, возникающих при выполнении обработки металлов давлением / Интеллектуальные системы в производстве. Ижевск. 2013. №2. С. 66–69.
3. **Романовский, В.П.** Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – М.: Машиностроение, 1979.
4. Ковка и штамповка: справочник. В 4-х т. Т. 4. Листовая штамповка / под ред. Е.И. Семенова [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

S.V. Kuznetsov

**INFLUENCE OF CROSS-SECTION FORCES ON QUALITY
OF THE DETAILS RECEIVED BY METHODS OF A SHEET-METAL FORMING**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The question of an estimation of influence of the cross-section forces arising at execution of processes of a sheet-metal forming, on exactitude and quality of details is considered. The technique of definition of offset of working parts of a die under the influence of cross-section forces is presented.

Design/ methodology/ approach: For an estimation of influence of cross-section forces offset of a male mould concerning a die which diminished magnitude of the tolerance by deterioration at invariable other values of tolerances for an existing die was.

Findings: Amount of clearance between a die and a male mould for separating processes is comparable with a value of a clearance to guiding nodes of a die though and it is less than it. Hence, presence of distortions will influence a clearance and nonuniformly to change it on a separation head loop that will affect quality and exactitude of a detail. Arising cross-section force will reduce firmness of the instrument for various operations because of reduction of a value of the tolerance by manufacture of a detail owing to presence of offsets.

Research limitation/ implications: The introduced method allows to raise quality of the details received by methods of a sheet-metal forming, at the expense of the account of influence of cross-section forces on the instrument and the process equipment.

Originality/ value: The applied technique in the conditions of any manufacture of the given profile can lead to improvement in quality of details, saving of tool steels, heightening of firmness of the instrument.

Key words: a metal forming, a sheet-metal forming, cross-section forces, exactitude, quality of details.

УДК 621.979

С.В. Кузнецов

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ИХ ПРОВЕДЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Посвящена разработке экспериментальных способов непосредственного и косвенного определения поперечных (горизонтальных) сил, возникающих при выполнении технологических операций обработки металлов давлением в зависимости от условий их проведения.

Ключевые слова: обработка металлов давлением, поперечные силы, способы определения сил.

При выполнении операций обработки металлов давлением на любом из существующих видов оборудования, кроме сил, действующих вдоль оси деформирования, отмечено возникновение поперечных (действующих в плоскости разреза штампа и перпендикулярных оси деформирования) сил.

Разработка способа экспериментального определения поперечных сил в рабочей зоне машины, а также определение численных значений величин данных сил является основной целью данной статьи. Целесообразность проведенных исследований обусловлена необходимостью увеличения надежности кузнечно-прессового оборудования и штамповой оснастки за счет определения и дальнейшего учета величины поперечных сил в рабочей зоне машины при различных процессах обработки металлов давлением.

Было установлено, что возникновение поперечной силы связано с наличием двух основных факторов:

а) перекосом ползуна прессы вследствие эксцентрично приложенной нагрузки (несовпадения центра давления штампа с центром давления прессы). Перекос ползуна прессы зависит от величины нагрузки и эксцентриситета ее приложения, величины зазоров и жесткости подвижных соединений, особенно направляющих ползуна и штампа;

б) вида и особенностей выполнения конкретной технологической операции [1].

Для проведения экспериментальных работ было спроектировано, изготовлено и опробовано измерительное устройство для одновременного определения поперечных сил, возникающих от технологической операции и перекоса ползуна прессы (рис. 1).

Принцип действия измерительного устройства основан на разрыве жесткой связи между верхней плитой штампа и ползуном прессы. Измерение перекоса ползуна прессы I производится на основании замеров расстояний датчиками перемещений 4 , установленных по углам ползуна прессы, между ползуном (при его движении) и базовой плоскостью (столом прессы 7). Конструкция датчика перемещений представлена на рис. 2. При значительных величинах перемещений ползуна могут применяться иные типы датчиков определения перемещений, принцип действия которых основан на изменении сопротивления по мере перемещения ползуна.

На рис. 1 обозначено: 1 – ползун прессы; 2 – узел крепления; 3 – стержни силоизмерительные; 4 – датчики перемещений; 5 – верхняя половина штампа; 6 – нижняя половина штампа; 7 – стол прессы; 8 – узел (устройства) крепления промежуточной плиты к измерительной схеме; 9 – держатель вспомогательный; 10 – держатель основной; 11 – плита

промежуточная; 12 – тензодатчики; 13 – плита опорная; 14 – устройства фиксации датчиков перемещений.

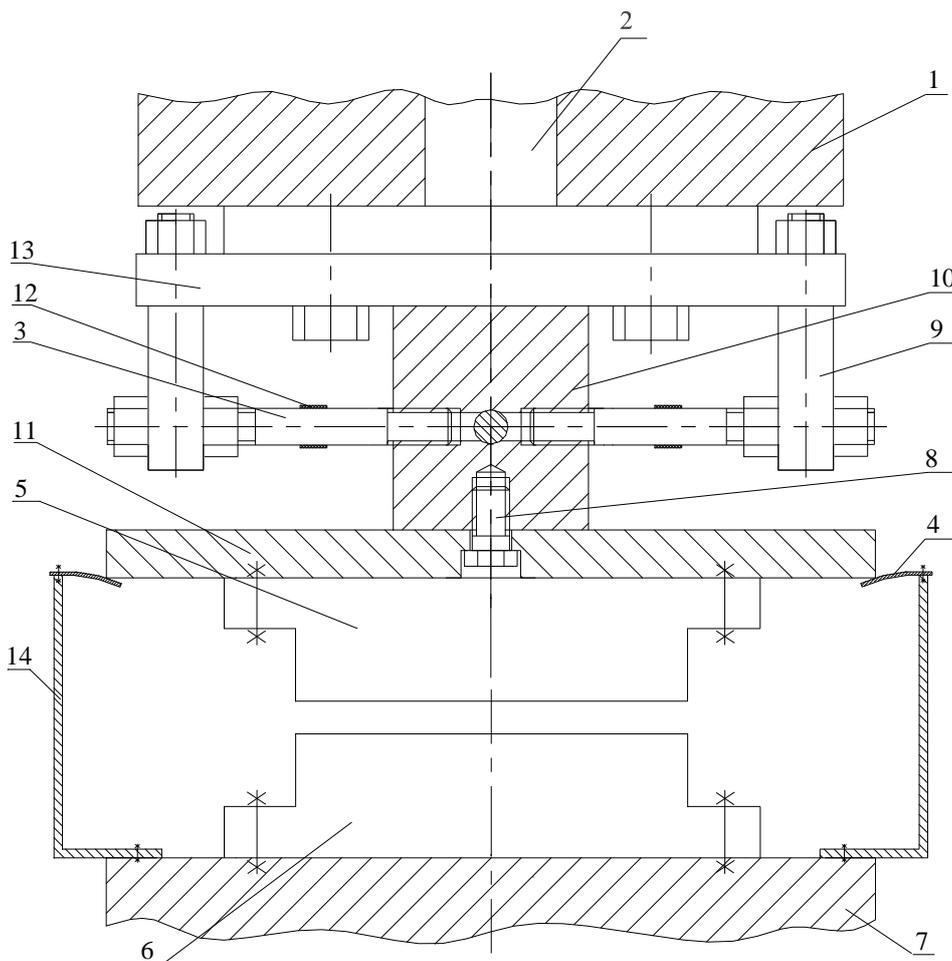


Рис. 1. Схема измерительного устройства для одновременного определения поперечных сил, возникающих от технологической операции и перекоса ползуна прессы и расположение датчиков относительно ползуна прессы

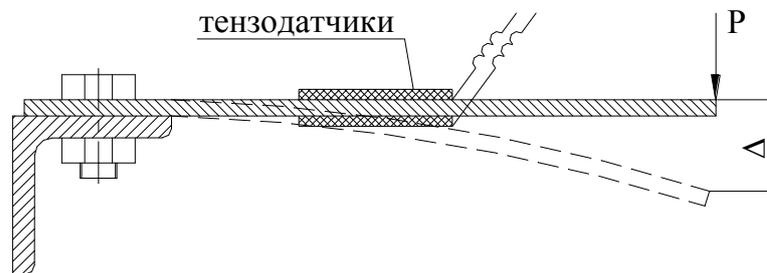


Рис. 2. Конструкция датчика перемещений

Для передачи нагрузок, действующих в плоскости разреза штампа, вводятся четыре силоизмерительных стержня 3 и четыре вспомогательных держателя 9. Силоизмерительные стержни расположены в плоскости разреза штампа под углом 90° друг относительно друга. На силоизмерительных стержнях расположены тензодатчики 12. Вспомогательные держатели жестко зафиксированы на опорной плите 13, которая, в свою очередь, жестко крепится к ползуну прессы 1, например, посредством хвостовика 2. Верхняя половина штампа крепится

к держателю основному 10 либо непосредственно при помощи специального узла крепления 8, либо через промежуточную плиту 11.

Определение поперечных сил в направлении силоизмерительных стержней производится по величинам их деформаций при помощи регистрирующей аппаратуры (аналого-цифровой преобразователь с выводом на ЭВМ). Величина и направление результирующей поперечной силы в рассматриваемый момент времени определяются как векторная сумма сил на основании результатов, полученных с каждого силоизмерительного стержня (при помощи созданной программы для ЭВМ).

Предлагаемое измерительное устройство может быть установлено и применено на любом типе кузнечно-прессовых машин с незначительными конструктивными изменениями.

При исследованиях применялся метод прямого тарирования, для чего измерительное устройство нагружалось вдоль каждого силоизмерительного стержня известной по величине силой, измеряемой при помощи динамометра.

Таким образом, на основе представленного способа была решена задача *непосредственного* определения поперечных сил.

Поперечные силы могут быть найдены и при рассмотрении *обратной* задачи (*косвенное* определение исследуемых сил), т.е. на основе измерения величин перемещений ползуна пресса определяются силы, которые их вызвали. Однозначно определить положение ползуна пресса возможно по пространственному положению двух взаимно перпендикулярных плоскостей, в качестве которых принимаем боковую и торцевую плоскости ползуна пресса (рис. 3). В свою очередь, положение плоскости в пространстве может быть определено по трем точкам, не лежащим на одной прямой. Следовательно, для решения поставленной задачи необходимо шесть датчиков перемещений, устанавливаемых согласно представленной на рис. 3 схеме.

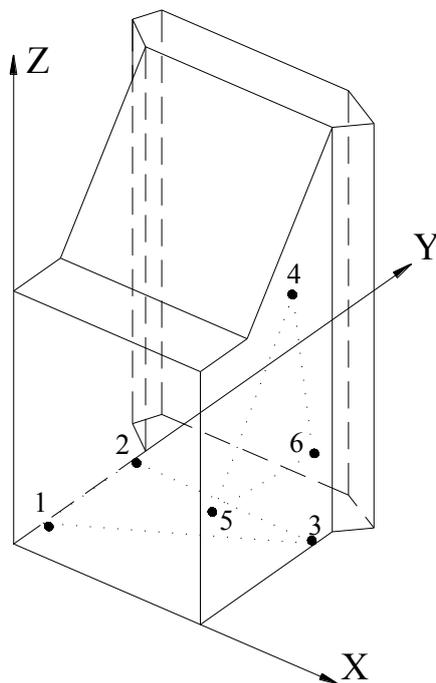


Рис. 3. Схема проведения эксперимента для определения положения в пространстве ползуна пресса и расположение датчиков перемещений относительно ползуна пресса

Для проведения экспериментальных работ было спроектировано и изготовлено измерительное устройство, в котором шесть датчиков перемещений (на рис. 3 обозначены точками с соответствующими номерами) жестко закреплены с помощью кронштейнов на столе и станине пресса согласно представленной на рис. 3 схеме. Конструкция датчиков перемещений аналогична представленной на рис. 2. Ползун в направляющих в течение рабочего хода

меняет свое положение. По величинам перемещений каждой из замеряемых точек, которые фиксировались датчиками перемещений при помощи регистрирующей аппаратуры (аналого-цифровой преобразователь с выводом на ЭВМ), проводилось определение положения в пространстве ползуна прессы.

Для сопоставления перемещений ползуна прессы и сил, вызывающих данные перемещения (поперечных сил) проводилось нагружение ползуна прессы в направлении осей X, Y и под 45° к ним (рис. 3) известной по величине силой, фиксируемой при помощи динамометра. При нагружении прикладываемая сила ступенчато возрастала по величине (до 10 раз), т.е. при сохранении направления сила увеличивалась в два, три, четыре и т.д. раза, причем максимальное значение прикладываемой поперечной силы равнялось величине силы от выполняемой технологической операции.

Параллельно с этим производилась фиксация перемещений ползуна прессы для каждого значения прилагаемой силы. Таким образом, для нахождения поперечной силы сопоставлялись значения экспериментально полученных перемещений ползуна при выполнении конкретной технологической операции с перемещениями, вызванными известными по величине и направлению силами.

Экспериментальные исследования для решения прямой и обратной задач проводились на прессе модели К2124 (номинальной силой 250 кН) при выполнении различных технологических операций листовой штамповки (вырубка-пробивка, вытяжка с прижимом и без него для осесимметричных и неосесимметричных деталей, одно- и двухугловая гибка).

Выводы

1. Экспериментально подтвержден факт появления в процессе выполнения операций обработки давлением поперечных сил.

Величина горизонтальных сил может достигать:

- до 0,01% от силы деформирования для операции вырубки-пробивки;
- 3,5% от силы деформирования для операции вытяжки осесимметричных деталей;
- 3,9% от силы деформирования для операции одноугловой гибки;
- 6,9% от силы деформирования для операции двухугловой гибки;
- 48,3 % от силы деформирования для операции вытяжки неосесимметричных деталей,

причем неравномерность прижима по периметру заготовки может привести к увеличению поперечной силы до 3,5 раз.

Также наблюдается опрокидывание ползуна прессы при выполнении технологической операции.

2. Представленные результаты экспериментов позволяют сделать вывод, что поперечные силы должны учитываться при проектировании и эксплуатации кузнечно-прессового оборудования и штамповой оснастки.

3. Неточность наладки штампов (несоосность пуансона и матрицы, неравномерность зазора между ними по периметру, особенности установки заготовки и т.д.), может увеличивать величину горизонтальной силы до 2,2 раз.

4. Подтверждено предположение о том, что поперечные силы могут возникать вследствие особенностей выполняемой технологической операции и перекоса ползуна прессы.

5. Можно предположить, что поперечные силы отрицательно влияют на прессовое оборудование и штамповую оснастку:

– являются причиной смещений и опрокидываний ползуна и верхней половины штампа, что является причиной нарушения соосности пуансона относительно матрицы и, как следствие, отрицательно влияет на точность получаемых деталей;

– приводят к появлению дополнительных нагрузок на направляющие узлы прессы и штампового блока, являются причиной увеличения сил трения в них, и как следствие, вызывают их повышенный износ и снижают энергетические характеристики проводимой операции;

– приводят к возникновению ударных нагрузок, шуму, вибрациям.

Библиографический список

1. Кошелев, О.С. Методика определения горизонтальных сил, возникающих при штамповке / О.С. Кошелев, С.В. Кузнецов // Кузнечно-штамповочное производство. 1997. № 4. С. 21–23.
2. Кузнецов, С.В. Экспериментальное определение поперечных сил, возникающих при выполнении обработки металлов давлением // Интеллектуальные системы в производстве. – Ижевск. 2013. №2. С. 66–69.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

S.V. Kuznetsov

TECHNIQUE OF EXPERIMENTAL DEFINITION OF CROSS-SECTION FORCES DEPENDING ON CONDITIONS OF THEIR HOLDING FOR METAL FORMING OPERATIONS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Operation is devoted working out of experimental modes of direct and indirect definition of the cross-section forces arising at execution of operations of a metal forming depending on conditions of their holding.

Design/ methodology/ approach: For holding of experimental operations the measuring device for simultaneous definition of the cross-section forces arising from an operation and a distortion of a sliding bar of a press has been designed, fabricated and tested.

Findings: Experimentally the fact of occurrence in the course of execution of processes of handling by pressure of cross-section forces is confirmed. Cross-section forces should be considered at projection and maintenance of squeezers and dies. The conjecture that cross-section forces can arise owing to features of an executable operation and a distortion of a sliding bar of a press is confirmed.

Research limitation/ implications: The offered new mode of definition of cross-section forces can be used at a design stage of the equipment and fitting-out as specifying to the existing.

Originality/ value: The original technique of experimental definition of cross-section forces has been developed for metal forming operations.

Key words: processing of metals by pressure, cross-section forces, ways of definition of forces.

УДК 621.979

С.В. Кузнецов

МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ИХ ПРОВЕДЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Посвящена разработке способов теоретического определения поперечных (горизонтальных) сил, возникающих при выполнении технологических операций обработки металлов давлением в зависимости от условий их проведения.

Ключевые слова: обработка металлов давлением, уравнение, расчет, силовой анализ, поперечные силы.

Вопросы, связанные с определением силовых воздействий при выполнении операций ОМД исследовались рядом авторов ([1] и др.), в результате чего было установлено:

- а) отсутствие единой методики определения и учета поперечных сил;
- б) возникновение поперечной силы связано с наличием двух основных факторов, обусловлено перекосом ползуна прессы вследствие эксцентрично приложенной нагрузки и с особенностями выполнения конкретной технологической операции;
- в) создание конструкций элементов кузнечно-прессового оборудования и штамповой оснастки производится в основном без учета воздействия и количественной оценки поперечных сил вследствие отсутствия соответствующих методик их определения, хотя эти силы могут существенно влиять на работу узлов оборудования, точность и качество получаемых изделий в целом.

Очевидно, что отсутствие способов определения поперечных сил не дает возможность получить достоверную картину силовых взаимодействий в зоне выполнения технологической операции и вне её.

Таким образом, целью работы является создание методики определения величины и направления поперечных сил в зависимости от условий проведения технологической операции для операций объемной и листовой штамповки.

С целью определения сил произвольно выделялся элементарный участок dF_K на поверхности AB контакта (рис. 1) [1]. Считалось, что на такой поверхности присутствуют распределенные нормальные σ_H и касательные τ_K напряжения.

Для произвольно выделенного участка можно записать:

$$dP_B = \sigma_H \cdot dF_K \cdot \cos \alpha + \tau_K \cdot dF_K \cdot \sin \alpha = \sigma_H \cdot dF_B + \tau_K \cdot dF_\Gamma$$

$$dP_\Gamma = \sigma_H \cdot dF_K \cdot \sin \alpha + \tau_K \cdot dF_K \cdot \cos \alpha = \sigma_H \cdot dF_\Gamma + \tau_K \cdot dF_B,$$

где dF_Γ и dF_B – площади проекций элементарного участка заготовки на плоскости, перпендикулярную и совпадающую с направлением движения инструмента, dP_Γ и dP_B – проекции элементарных усилий, действующих по выделенной поверхности контакта, на плоскости, перпендикулярную и совпадающую с направлением движения инструмента, α – угол между направлением нормального напряжения σ_H и направлением движения инструмента.

Решение задачи, связанной с определением поперечных сил, а также различного по времени вхождения в контакт с гравюрой штампа деформируемого материала, условий про-

грева образца перед выполнением операции, формы заготовки и заусенца потребовало выявления нормального напряжения σ_x , действующего со стороны препятствия.

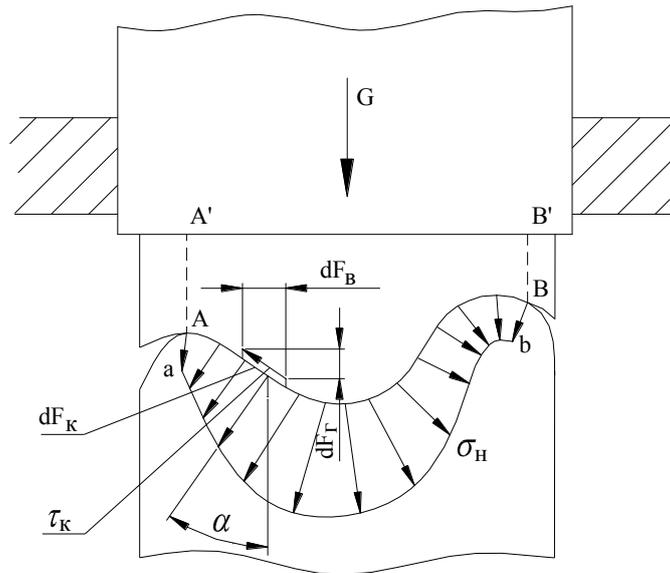


Рис. 1. Схема определения нормальных и касательных напряжений для нахождения деформирующих сил для рассматриваемой контактной поверхности

Препятствие в момент начала контакта приводит к смене схемы деформируемого состояния (рис. 2): объемное деформированное состояние на поверхности переходит в плоское.

Для такого состояния справедливы выражения: $\sigma_y = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2}$ и $\tau_{xy} = \tau_{zy} = 0$.

Предполагалось, что процессы, протекающие на торцах заготовки и в зоне контакта с препятствием, носят схожий характер, поэтому определение τ_{xz} проводилось по методике [1], применяемой в расчетах на торцах заготовки. На основании этого полагалось, что при касательном напряжении τ_k на контактной поверхности $\tau_k \leq 0,7 \cdot k$ напряжения определяются соотношением $\sigma_x - \sigma_z = \pm \sigma_s$ и точное значение σ_x определено быть не может. При

$0,7 \cdot k < \tau_k \leq k$: $\sigma_x = \sigma_z = -\frac{\sigma_s}{3}$.

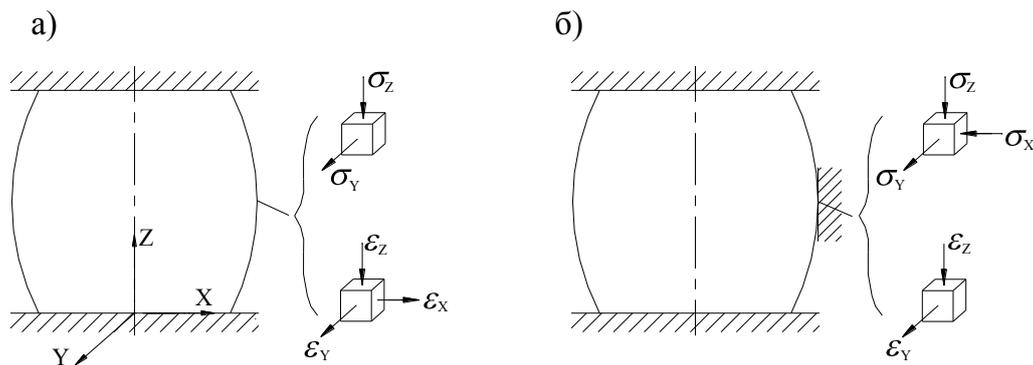


Рис. 2. Схемы напряженно-деформированного состояния образца:
 а – при его осадке; б – при касании образцом препятствия (гравюры штампа).

Определение напряжений проводилось на основании соответствия напряженного и деформированного состояний заготовки [1]. Это позволило найти напряжение σ_x без нахождения касательных напряжений на поверхности заготовки. При этом вводились следующие допущения:

а) относительные сдвиги γ отсутствуют и направления удлинений совпадают с главными осями деформаций;

б) направления напряжений совпадают с главными осями нормальных напряжений.

В результате было получено, что искомое напряжение находится в диапазоне $-\sigma_s/3 \leq \sigma_x \leq 0$. Для рассмотренной схемы в предельном случае $\sigma_x = \sigma_z = -\sigma_s/3$. Таким образом, максимально возможное значение напряжения в зоне контакта заготовки с препятствием $\sigma_x = \left| \frac{\sigma_s}{3} \right|$.

В результате, нами была предложена последовательность расчета поперечных сил для заготовки произвольной пространственной формы:

1. Криволинейная контактирующая поверхность штампа и заготовки в рассматриваемый момент времени разделялась на совокупность элементарных поверхностей (плоскость, цилиндр, сфера и т.д.), причем шаг разбиения зависел только от сложности рассматриваемой формы.

2. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение ее положения относительно базовой плоскости.

3. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение площадки контакта.

4. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение нормальных напряжений.

5. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение касательных напряжений.

6. Определялось значение элементарной поперечной силы для каждой выделенной поверхности.

7. Определялось результирующее значение поперечной силы путем векторного сложения соответствующих элементарных сил, действующих во всех выделенных участках заготовки.

Рассмотрим способ определения данных сил для операций листовой штамповки. С этой целью (рис. 3) составляли основные уравнения равновесия выделенного элемента:

а) при проецировании на нормаль к поверхности

$$\sigma_H \cdot f_3 - 2\sigma_p \cdot f_1 \frac{d\alpha}{2} - 2\sigma_\theta \cdot f_2 \frac{d\beta}{2} = 0; \quad (1)$$

б) при проецировании на касательную к поверхности заготовки в меридиональном сечении

$$\sigma_p \cdot f_1 + d(\sigma_p \cdot f_1) - \sigma_p \cdot f_1 - 2\sigma_\theta \cdot f_2 \cdot \frac{d\theta}{2} - \mu \cdot \sigma_H \cdot f_3 = 0. \quad (2)$$

На основе уравнений (1) - (2) рассматривались различные варианты определения поперечных сил. В качестве наиболее приемлемого с точки зрения дальнейшего использования принимаем:

$$dF_{Ti} = s \cdot d\gamma \cdot d\rho \cdot \left[(\sigma_p - \sigma_\theta) + d\sigma_p \cdot \frac{\rho}{d\rho} \right] \quad (3)$$

где dF_{Ti} – поверхностная сила трения, действующая в выделенном i -м элементарном участке; β – переменный коэффициент, являющийся функцией главных нормальных напряжений; s – толщина заготовки; $d\gamma$ – угол; ρ – параметр, определяющий положение выделенного элемента заготовки относительно оси симметрии.

Величина поперечной силы, действующей в выделенном сегменте, в конечном счете, определялась по зависимости:

5. Полученные значения деформаций подставлялись в уравнение

$$\sigma_{\theta} = \sigma_S \cdot \frac{-(\varepsilon_{\rho} + 2 \cdot \varepsilon_Z)}{\varepsilon_Z + 2 \cdot \varepsilon_{\rho}}.$$

6. Полученное значение напряжения подставлялось в уравнение пластичности $\sigma_{\rho} - \sigma_{\theta} = \pm\beta \cdot \sigma_S$, откуда находилось σ_{ρ} .

7. На основе уравнения (5) в зависимости от рассматриваемой технологической операции, условий ее проведения и граничных условий, определялась постоянная интегрирования C .

8. На основе полученного уравнения устанавливалась величина поперечной силы в пределах выделенного сектора.

9. Аналогично определялись поперечные силы во всех выделенных секторах заготовки.

10. Находилось результирующее значение поперечной силы путем векторного сложения сил, действующих в каждом выделенном сегменте, по всей поверхности заготовки.

Выводы

1. Подтвержден факт возникновения поперечных сил при выполнении технологических операций обработки металлов давлением.

2. Предложен способ теоретического определения поперечных сил.

3. Подтвержден факт влияния поперечных сил на штамповую оснастку, следовательно, и пресовое оборудование. Вследствие этого поперечные силы должны учитываться при проектировании и эксплуатации оборудования и штамповой оснастки.

4. Предложенный новый способ определения исследуемых сил может быть использован на стадии проектирования оборудования и оснастки в качестве уточняющего к существующим.

Библиографический список

1. **Сторожев, М.В.** Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977.
2. **Кузнецов, С.В.** Теоретическое определение поперечных сил, возникающих при выполнении операций обработки металлов давлением / Вестник Ижевского государственного технического университета им. М. Т. Калашникова. 2013. №4. С. 31–34.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

S.V. Kuznetsov

TECHNIQUE OF THEORETICAL DEFINITION OF CROSS-SECTION FORCES DEPENDING ON CONDITIONS OF THEIR HOLDING FOR METAL FORMING OPERATIONS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The work purpose is creation of a technique of definition of size and a direction of cross-section forces depending on conditions of carrying out of technological operation for operations of volume and sheet punching.

Design/ methodology/ approach: Definition of cross-section forces was fabricated by determination of stresses in a zone of contact of the instrument and preform.

Findings: The common equations of definition of examined forces for sheet-metal forming processes have been as a result received, modes of a finding of settlement magnitudes going into formulas proceeding from a condition of link of stresses and strains of a considered element depending on design features and geometry of the applied instrument are fixed.

Research limitation/ implications: The offered new mode of definition of cross-section forces can be used at a design stage of the equipment and fitting-out as specifying to the existing.

Originality/ value: The original technique of theoretical definition of cross-section forces has been developed for metal forming operations.

Key words: processing of metals by pressure, the equation, calculation, the power analysis, cross-section forces.

НАШИ АВТОРЫ

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Аношкин Юрий Иванович - к.т.н., доцент
НГТУ им. Р.Е.Алексеева;
react.nntu.nnov.ru

Безносков Александр Викторович – д.т.н.,
профессор, НГТУ им. Р.Е.Алексеева;
besnosov@nntu.nnov.ru

Бокова Татьяна Александровна – к.т.н., до-
цент НГТУ им. Р.Е.Алексеева
besnosov@nntu.nnov.ru

Боков Павел Андреевич – аспирант НГТУ
им. Р.Е.Алексеева;
besnosov@nntu.nnov.ru

Варенцов Андрей Владиславович – аспирант
НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
varentsov.andrey@gmail.com

Зудин Артем Дмитриевич – аспирант НГТУ
им. Р.Е.Алексеева;
besnosov@nntu.nnov.ru

Жилов Дмитрий Михайлович - студент НГ-
ТУ им.Р.Е.Алексеева;
react.nntu.nnov.ru

Кожевникова Татьяна Вадимовна - к.т.н.,
доцент НГТУ им. Р.Е.Алексеева;
physics@nntu.nnov.ru

Куценко Кирилл Владленович - Националь-
ный исследовательский ядерный университет
«МИФИ», доцент, заместитель декана;
GVTikhomirov@mephi.ru

Новожилова Ольга Олеговна – доцент НГТУ
им. Р.Е.Алексеева;
besnosov@nntu.nnov.ru

Соловьев Александр Олегович – магистрант
НГТУ им. Р.Е.Алексеева;
besnosov@nntu.nnov.ru

Сорокин Владислав Дмитриевич – аспирант
НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
vlad.sorokin1987@mail.ru

Легчанов Максим Александрович – к.т.н.,
доцент, зам.директора ИЯЭиТФ, НГТУ им.
Р.Е. Алексеева;
legchanov@mail.ru

Львов Александр Вячеславович – аспирант
НГТУ им. Р.Е.Алексеева;
besnosov@nntu.nnov.ru

Львов Анатолий Егорович – к.т.н., началь-
ник отдела, Открытое акционерное общество

«Федеральный научно-производственный
центр «Нижегородский научно-исследова-
тельский приборостроительный институт
«Кварц» имени А.П. Горшкова»;
(831) 466-20-25.

Солнцев Дмитрий Николаевич – ассистент
НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
dn.solntsev@pochta.ru

Трушков Никита Владимирович – маги-
странт НГТУ им. Р.Е.Алексеева
besnosov@nntu.nnov.ru

Михалицын Евгений Александрович - ин-
женер-исследователь 3 кат., ФГУП «ФНПЦ
НИИИС им. Ю.Е. Седакова», НИС 34320, ас-
пирант НГТУ им. Р.Е.Алексеева;
mihalitsynea@gmail.com.

Рудоясова Людмила Григорьевна - к.т.н.,
доцент НГТУ; (8312) 436-82-33

Хробостов Александр Евгеньевич – к.т.н.,
доцент директор ИЯЭиТФ НГТУ им. Р.Е.
Алексеева; khrobostov@nntu.nnov.ru

Шишков Глеб Иванович – к.т.н., доцент,
НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
(8312) 436-82-33.

Щербаков Владимир Викторович – к.т.н.,
доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
(8312) 436-82-33.

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

Тесленко Дмитрий Сергеевич - Центральный
научно-исследовательский автомобильный и
автомоторный институт «НАМИ» (ГНЦ РФ
ФГУП «НАМИ»), г. Москва, центр "Автомобили
и тракторы", управление кабин и кузовов,
отдел интерьера, ведущий конструктор;
mark-b52@inbox.ru

Беляков Владимир Викторович - д.т.н, про-
фессор, заместитель проректора по научной
работе НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
nauka@nntu.nnov.ru

Макаров Владимир Сергеевич - к.т.н, доцент
НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
nauka@nntu.nnov.ru

Зезюлин Денис Владимирович - к.т.н.,
ст. преподаватель НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
nauka@nntu.nnov.ru

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Вагин Геннадий Яковлевич – д. т. н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
es@nntu.nnov.ru

Варыгин Иван Александрович – аспирант НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
ilyavorotyntsev@me.com

Воротынцев Илья Владимирович - д.х.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
ilyavorotyntsev@me.com

Гребенщиков Виктор Иванович, к.т.н., доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеев;
greben@mts-nn.ru

Гуляев Владимир Викторович, к.т.н., доцент каф. ЭиЭОВТ Волжской государственной академии водного транспорта
eovt@mail.ru

Дарьенков Андрей Борисович - к.т.н. доцент, директор образовательно-научного института электроэнергетики НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
fae@nntu.nnov.ru.

Захаров Илья Александрович - ст. преподаватель НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
re@nntu.nnov.ru

Зимин Андрей Юрьевич – аспирант НГТУ им. Р.Е. Алексеева.
zimin91andrey@mail.ru

Колосов Роман Вадимович - аспирант НГТУ;
romio_86@bk.ru

Кралин Алексей Александрович – к. т. н., доцент, заведующий кафедрой НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
toe@nntu.nnov.ru

Лапаев Дмитрий Николаевич – д.э.н., профессор НГТУ им.Р.Е. Алексеева;
436-23-62

Ломакина Любовь Сергеевна – д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
(8312) 36-82-28

Максимов Юрий Михайлович – профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева,
makarova@nntu.nnov.ru

Малафеев Олег Юрьевич – инженер НГТУ им. Р.Е. Алексеева
<fae_nir@nntu.nnov.ru>

Мочалин Дмитрий Сергеевич – инженер 1 кат., аспирант НГТУ им. Р.Е. Алексеева
<fae_nir@nntu.nnov.ru>

Садиков Дмитрий Геннадьевич – инженер 1 кат., аспирант НГТУ им. Р.Е. Алексеева
fae_nir@nntu.nnov.ru

Солнцев Евгений Борисович – к. т. н., доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
es@nntu.nnov.ru

Смирнов Александр Юрьевич – д. т. н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева.
a_yu_smirnov@mail.ru

Севастьянов Валерий Владимирович - к.т.н., доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
valeri.sevast@mail.ru

Соснина Елена Николаевна - д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
sosnyna@yandex.ru

Титов Виктор Владимирович - старший преподаватель НГТУ им. Р.Е. Алексеева,
eos@nntu.nnov.ru

Титов Владимир Георгиевич - д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
eos@nntu.nnov.ru

Чивенков Александр Иванович - к.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
chuyvenkov@mail.ru

Усунц-Кригер Татьяна Николаевна – аспирант НГТУ им. Р.Е. Алексеева
8- 904-054-00-20

Шевченко Анатолий Сергеевич – инженер НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
<fae_nir@nntu.nnov.ru>

МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Алексеев Валерий Анатольевич - генеральный директор ООО НПП «МОЛОТ»
33662@mail.ru, molot-npp@yandex.ru

Аушев Александр Александрович - инженер-исследователь, Российский федеральный ядерный центр – всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики;
diplomla@mail.ru

Балеев Борис Федорович – к.т.н., доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
436-80-73

Бобенин Алексей Николаевич – к.т.н., доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
bebenin.alexey@burevestnik.com

Бердичевский Роман Борисович - магистрант НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
8-905014707

Беспалов Валерий Валентинович – к.т.н., доцент НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
436-57-10

Бенсон Валерий Вилнисович – к.т.н., ОАО "Центральный научно-исследовательский институт "Буревестник, начальник отдела программного обеспечения;
benson.valery@burevestnik.com

Вавилов Юрий Николаевич – к.т.н.

Доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
436-80-73

Волков Андрей Станиславович - к.т.н., Нижегородский филиал ООО “НПА Вира Реалтайм”, инженер-программист 1-й категории;
a.volkov@rlt.ru

Волкова Ирина Евгеньевна – к.т.н., зам. заведующего кафедрой НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
iev01@yandex.ru

Воробьев Роман Александрович – к.т.н., ведущий специалист ОАО "Центральный научно-исследовательский институт «Буревестник»;
linuxjuicy@gmail.com

Вольнов Олег Иванович - доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева,
8-910-797-31-60

Гришин Евгений Николаевич - инженер-исследователь, Российский федеральный ядерный центр – всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики;
e-mail: Grischin-E-N@yandex.ru

Дружинин Георгий Александрович - ОАО «Нижегородский телевизионный завод им. В.И. Ленина», отдел главного технолога, заместитель начальника бюро;
gedruzh@mail.ru; druzhinin.ga@nitel-oao.ru

Дудукин Дмитрий Олегович - студент НГТУ им. Р.Е. Алексеева
dima.dudukin@mail.ru

Ершов Николай Владимирович – к.т.н. доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
env.2011@yandex.ru

Ершов Владимир Николаевич - к.т.н. доцент НГПУ им. К. Минина;
89519054066

Иванов Анатолий Андреевич – д.т.н., профессор НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
E – mail: ivanov_aa@nntu.nnov.ru

Зайцев Артем Алексеевич – ОАО "Центральный научно-исследовательский институт «Буревестник», инженер 1 категории;
zaycev.artem@burevestnik.com

Запорожцев Александр Валерьевич – к.т.н., доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
zaporozhcev10@mail.ru

Зимин Михаил Николаевич - нач. отдела ООО «Научно-производственное предприятие «Модель»;
zimin-nn@mail.ru

Зими́на Елена Витальевна – к.т.н., доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
scheinrich@mail.ru

Земсков Пётр Александрович – Нижегородский филиал ООО “НПА Вира Реалтайм”, начальник отдела разработки ПО;
P.Zemskov@rlt.ru

Зотов Александр Владимирович – ОАО «Центральный научно-исследовательский институт «Буревестник», начальник группы динамики; +7 (831) 242 16 26

Кайнова Валентина Николаевна – к.т.н., доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
kainovavn@yandex.ru

Карнавская Татьяна Геннадьевна – ОАО "Центральный научно-исследовательский институт «Буревестник», младший научный сотрудник;

karnavskaya.tanya@burevestnik.com

Кретинин Олег Васильевич – д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
kretinin@list.ru

Кварталов Александр Рафаилович - доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
naumov@nntu.nnov.ru

Каневский Григорий Наумович - к.т.н., с.н.с., - доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
gkanev@mail.ru

Каляшина Анна Викторовна – к.т.н., доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
anna_vik@mail.ru

Кирюшов Денис Павлович - магистрант НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
kirushovdenis@gmail.com

Крайнов Вадим Владимирович – ст. преподаватель НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
Kraynovvv@mail.ru

Кувшинова Наталья Николаевна – доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева
436-80-85

Кузнецов Сергей Викторович – заведующий кафедрой НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
436-80-85

Куликова Елена Анатольевна – к.т.н., доцент НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
436-23-70

Козлов Игорь Константинович – к.т.н., доцент НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
monitorweld@rambler.ru

Коревский Олег Александрович – магистрант НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
oleg13-07.92@mail.ru

Конищев Борис Петрович – к.т.н., доцент НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
220-15-04

Кочеров Антон Валериевич - магистрант НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
8-960-835-94-16

Кочин Игорь Леонидович – к.т.н., доцент,
заведующий кафедрой НГТУ
им. Р. Е. Алексеева; 436-57-10

Кошелев Олег Сергеевич – д.т.н., профессор
НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
436-03-90

Лаптев Игорь Леонидович – к.т.н., доцент,
заведующий кафедрой НГТУ
им. Р. Е. Алексеева; 436-57-10

Лаптева Елена Алексеевна - заместитель ди-
ректора ГБОУ СПО «Борский Губернский
колледж»;
8-83159-74031

Литовченко Виктор Николаевич - ОАО
"Центральный научно-исследовательский ин-
ститут «Буревестник», начальник лаборатории
прочностных и климатических испытаний;
VNLitov@gmail.com

Ложкин Алексей Александрович - ОАО
"Центральный научно-исследовательский ин-
ститут "Буревестник, инженер-программист 2
категории;
lozhkin.alexey@burevestnik.com

Ляхманов Дмитрий Александрович - к.т.н.,
доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
ievol@yandex.ru

Сироткин Дмитрий Геннадьевич – техниче-
ский директор ОАО «АБАИР»;
sirdg@mail.ru

Скобелева Ирина Юрьевна – ст. преподава-
тель НГТУ им. Р.Е. Алексеева
257-86-77

Сизов Александр Юрьевич – инженер НГТУ
им. Р.Е. Алексеева;
sizov_ost_vk@mail.ru

Степанов Кирилл Викторович – магистрант
НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
79049034304@ya.ru

Серов Александр Сергеевич – магистрант
НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
alexander31121991@mail.ru

Синичкин Сергей Гаврилович – к.т.н., до-
цент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
89519034256

Слущкий Владимир Ефимович – к.т.н., про-
фессор, старший научный сотрудник НГТУ им.
Р.Е. Алексеева;
sluckij.vladimir@burevestnik.com

Соколова Элеонора Станиславовна – д.т.н.,
профессор, зав. кафедрой информатики и си-
стем управления НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
essokolowa@gmail.com

Соколова Юлия Владимировна – ассистент
НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
ievol@yandex.ru

Смоленский Сергей Юрьевич – к.т.н., до-
цент НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
220-15-04

Стешов Вадим Валерьевич - к.т.н., доцент
НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
vadimvs52@mail.ru, vadimvs52@yandex.ru

Магницкая Светлана Федоровна – доцент
НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 436-03-90

Мальцев Илья Михайлович – доцент НГТУ
им. Р.Е. Алексеева;
Maltcev@nntu.nnov.ru

Маликов Наиль Шамильевич - ОАО «ЦНИИ
«Буревестник», инженер;
burevestnik@atnn.ru

Москвичев Александр Алексеевич - доцент
НГТУ им. Р.Е. Алексеева; 8(831)2742120

Манцеров Сергей Александрович -
зав. кафедрой НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
mca_9@nntu.nnov.ru

Максимов Виктор Юрьевич - начальник
лаборатории электрических измерений и
испытаний ФБУ «Нижегородский ЦСМ»;
maksimov@nncsm.ru

Метелёв Борис Александрович – к.т.н., до-
цент НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
436-23-70

Михаленко Федор Павлович – д. т. н.,
профессор НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
436-23-94

Петровский Александр Николаевич – к.т.н.,
доцент НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
eneco-p@yandex.ru

Пичугин Александр Станиславович - глав-
ный технолог ОАО «НИТЕЛ»;
89108820488

Полынин Геннадий Евгеньевич - зам. декана
факультета ФДПиДОУ НГТУ
им. Р. Е. Алексеева;
220-15-96

Прыгин Артем Александрович – инженер-
метролог ЗАО «Магна Технопласт»;
artemka9991@mail.ru

Рудый Валерий Иванович – ОАО "Цен-
тральный научно-исследовательский институт
«Буревестник», главный специалист;
rudyj.valery@burevestnik.com

Трофимова Майя Сергеевна – ассистент
НГТУ им. Р. Е. Алексеева; 436-23-94

Туманов Алексей Анатольевич – ассистент
НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
lexa240391@mail.ru

Тимофеева Ольга Павловна – к.т.н., доцент
НГТУ им. Р.Е. Алексеева; ievol@yandex.ru

Тихонова Наталья Евгеньевна – к.т.н., до-
цент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
436-03-01

Хадеев Ренат Габдулфартович – магистрант
НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
r.g.khadeev@mail.ru

Хайрулин Риян Рафикович – ОАО "Цен-
тральный научно-исследовательский институт
"Буревестник, инженер-программист 2 катего-
рии; chayrulin.rijan@burevestnik.com

Цыбушкина Мария Михайловна -
магистрант НГТУ им. Р.Е. Алексеева
8-952-781-64-08

Шагалова Полина Андреевна - инженер
НГТУ им. Р.Е. Алексеева; ievol@yandex.ru

Швецов Александр Владимирович – к.физ.-
мат. н., ОАО "Центральный научно-
исследовательский институт "Буревестник,
инженер-программист 2 категории;
alexshdze@mail.ru

Шестоперов Валерий Юрьевич – к.т.н., до-
цент НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
436-80-73

Шнейберг Алексей Михайлович – к. т.н.,
доцент НГТУ им. Р. Е. Алексеева;
436-23-94

Федосова Людмила Олеговна -
ассистент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;
fedosovaludmila@list.ru

Устинов Борис Всеволодович – доцент НГТУ
им. Р.Е. Алексеева;
e-mail: Ustinov@nntu.nnov.ru

Юхновский Илья Александрович – ОАО
"Центральный научно-исследовательский ин-
ститут "Буревестник, инженер-программист 1
категории;
juhnovsky.ilja@burevestnik.com

Янкитова Ирина Алексеевна – ОАО "Цен-
тральный научно-исследовательский институт
«Буревестник», ведущий инженер;
jankitova.irina@burevestnik.com

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАПИСАНИЮ АВТОРСКИХ РЕЗЮМЕ

(АННОТАЦИЙ, РЕФЕРАТОВ К СТАТЬЯМ)

Авторский реферат на английском языке должен быть понятен без ссылки на саму статью. Это краткое точное изложение содержания документа, включающее основные фактические сведения и выводы описываемой работы. Объем не менее 10 строк (100–250 слов – 850 знаков). Реферат включает: 1) предмет, тему, цель работы; 2) метод или методологию проведения работы; 3) результаты и область их применения; 4) выводы. Таблицы, формулы, рисунки (нумерация в реферате может не совпадать с текстом статьи) включаются, если раскрывают основное содержание документа и позволяют сократить объем реферата.

Реферат можно начать с изложения результатов работы и выводов. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте реферата. Следует применять терминологию, характерную для иностранных специальных текстов, избегать терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных слов. Текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» (consequently, moreover, for example, the benefits of this study, as a result). Необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т.е. «The study tested», но не «It was tested in the study».

Авторское резюме из International Journal of Operations & Production Management. V.22.N 8

B. Meijboom, M. Houtepens

STRUCTURING INTERNATIONAL SERVICE OPERATIONS: A THEORETICAL FRAMEWORK AND A CASE STUDY IN THE IT-SECTOR

The name of organization

Purpose: The specific challenges with which companies pursuing international manufacturing strategies are faced, if their output also contains a service dimension, are addressed.

Design/methodology/approach: A theoretical framework is proposed based on three virtually complementary perspectives by integrating international production, demand, and contemporary ICT-based theory. Subsequently, an exploratory case study in a pure service environment is described that illustrates the value of the framework.

Findings: It is possible, for example, to apply the theoretical framework to case studies in internationally-operating companies delivering a mix of goods and services.

Research limitations/implications: The present study provides a starting-point for further research in the international manufacturing sector.

Originality/value: Moreover, the framework has proven to be useful in improving the European structure of the case company. This is a notable and promising side-effect of the exploratory study, at least from a managerial point of view.

Key words: multinationals, service operations, location, decision making, case studies.

**ПРИНИМАЕМ В ПЕЧАТЬ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ В ЖУРНАЛ
«ТРУДЫ НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»**

Адрес редакции: 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24
Телефон: 8(831)257-86-63
E-mail: rsl@nntu.nnov.ru

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, НАПРАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ

- В редакцию направляют два экземпляра статьи, отпечатанных на лазерном принтере на белой бумаге формата А4, с одной стороны листа, через один интервал 12 кеглем. Сноски и примечания 10 кеглем. Поля: левое, правое и нижнее – 20 мм, верхнее – 25 мм.
- Желательно, чтобы объем статьи не превышал 10 страниц текста и 4–6 рисунков. Все страницы должны быть пронумерованы. Минимальное количество страниц – 6.
- Статью необходимо сопроводить актом экспертизы, выпиской из заседания кафедры, рекомендующей статью к опубликованию, сведениями об авторах и рецензией.
- Статья должна быть подписана **всеми авторами**.
- Текст набирают без переносов, используя формат *Word for Windows* и стандартные шрифты *Times New Roman* и *Symbol*.
- Формульные выражения выполняют строго в редакторе MS Equation 3 – 12 кегль. Размерность физических величин должна соответствовать системе СИ.
- Первая страница статьи должна содержать следующую информацию: УДК (код по универсальному десятичному классификатору); инициалы и фамилии авторов (в таком порядке); название статьи; место работы всех авторов (полное название организации, город); аннотацию; ключевые слова (не более 10).
- Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным. Рекомендуется следующая структура статьи: вводная часть с обоснованием необходимости и изложением цели работы, теоретический анализ, методика, экспериментальная часть, результаты и выводы (не более 0,5 страницы), библиографический список.
- Сокращение слов, кроме общепринятых, не допускается.
- Таблицы (11 кегль жирный) должны иметь названия, их следует располагать по тексту статьи, ссылки на таблицы (табл. 1).
- Диаграммы выполняются в формате Excel.
- Графический материал (только в черно-белом изображении) должен быть четким и не требовать перерисовки. Изображение выполняется в формате **jpf** или **tif** с разрешением 300 **dpi**. Рисунки выполняются по ГОСТ, подрисовочная подпись 11 жирный кегль.
- К статье следует приложить CD с файлами: текста статьи с библиографией на русском языке; **фамилиями авторов, названием статьи, информацией о месте работы всех авторов, аннотацией и ключевыми словами на английском языке**.
- В сведениях об авторах следует сообщить: ФИО (полностью), место работы, должность, ученую степень и звание, телефон и адрес электронной почты.

ТРУДЫ
НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

№ 5 (107)
Специальный выпуск

Редакторы: **О.В. Пугина, Н.Н. Максимова**
Технический редактор **Т.П. Новикова**

Редакция:
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24.
rsl@ntu.nnov.ru

Подписано в печать 30.12.2014. Формат 60x84 ¹/₈. Бумага офсетная.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 57,5. Тираж 300 экз. Заказ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева.
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

Индекс 10312
Объединенный каталог «Пресса России»

Свидетельство о регистрации
СМИ в Роскомнадзоре
ПИ № ФС 77-56417 от 11 декабря 2013