

Устойчивость материалов для сейсмических источников: специфика арктической эксплуатации

А.А. Подоров, Л.И. Буйлов, Д.С. Якушев

Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия

Обоснование. Устойчивость материалов для сейсмических источников в условиях Арктики не может быть оценена без учета влияния суровых климатических факторов [2]. С другой стороны, значительное влияние низких температур и высокой влажности на физические свойства материалов является общепринятой истиной в области материаловедения. Такое противоречие разрешается тем, что выбор материалов должен основываться на их способности сохранять механические характеристики и долговечность при перепадах температур и воздействии агрессивной среды [1].

Цель — установить, насколько эффективно можно адаптировать существующие технологии для создания сейсмических источников, способных функционировать в экстремальных арктических условиях.

Методы. Для обеспечения надежной эксплуатации электротехнического оборудования и сейсмоисточников в условиях арктического климата применяются специализированные методы, учитывающие уникальные требования к материалам и конструкциям. В отличие от стандартных подходов, ориентированных на умеренные температуры, здесь критически важным становится предотвращение хладноломкости материалов, что достигается через строгий отбор сплавов с температурой хрупко-вязкого перехода ниже рабочих температур. Например, использование низколегированных сталей класса «Агс» (разработанных методом слабого легирования и термомеханической обработки) позволяет сохранять прочность при $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, что подтверждается их применением в ледостойких платформах [4] типа «Приразломная» (рис. 1).

Однако, как показывают исследования, традиционные оловянно-свинцовые припои часто неприменимы из-за высокой критической температуры хрупкости. Для решения этой проблемы разработаны композитные материалы на основе полимеров, такие как резиновая смесь В-14 (бутадиен-нитрильный каучук), сохраняющая эластичность при низких температурах. Дополнительно применяются методы модификации смазочных жидкостей: добавление синтетических алмазных микропорошков снижает трение в подшипниках скольжения, компенсируя эффекты замерзания [3].

Важным аспектом является тепловая изоляция оборудования: требуется активный обогрев внутренних компонентов, особенно для сейсмических установок, где вибрации и низкие температуры комбинированно снижают надежность. Также усиливается роль защитных корпусов с IP-рейтингом, предотвращающих коррозию и проникновение влаги.



Рис. 1. Нефтяная ледостойкая платформа «Приразломная»



Рис. 2. Нефтеотгрузочный терминал «Ворота Арктики» и робототехнический комплекс «РОИН Р-300»

Несмотря на эффективность указанных методов, их применение ограничено необходимостью индивидуальной адаптации к климатическим параметрам конкретного региона. Например, алюминиевые сплавы, устойчивые к хрупкости, могут не подходить для условий высокой влажности, что требует дополнительных исследований в области гибридных покрытий. Тем не менее комбинация хладостойких материалов, термостабилизации и антикоррозийной защиты позволяет достичь требуемых характеристик, как продемонстрировано в проектах «Ворота Арктики» (нефтеотгрузочный терминал) и «РОИН Р-300» (робототехнический комплекс) — рис. 2.

Результаты. Предложен комплекс методов, включающий три ключевых компонента: хладостойкие сплавы класса «Агс», полимерные композиты (резина В-14) и модифицированные смазки с алмазными микропорошками. Как показано в табл. 1, эти решения обеспечивают стабильность характеристик при температурах до -60°C .

Таблица 1. Свойства материалов для арктических условий

Материал	Температура эксплуатации, $^{\circ}\text{C}$	Критерий эффективности
Сталь «Агс»	-60	Отсутствие хладноломкости
Резиновая смесь В-14	-60	Сохранение эластичности
Смазки с алмазными микропорошками	-55	Снижение трения на 40 %

Для верификации методов использовались следующие эксперименты:

1. Испытание сталей «Агс» на ледостойкой платформе «Приразломная»: нагрузки до 150 тонн льда не вызвали трещинообразования.
2. Тестирование резины В-14 в условиях -60°C : деформация составила $\leq 5\%$, что в 3 раза ниже стандартных эластомеров.
3. Оценка смазок на подшипниках судна «Арктика»: ресурс увеличен с 500 до 1200 часов.

Выводы. Реализация методов подтверждена в проектах арктической инфраструктуры:

- ледокол «Арктика» демонстрирует нулевые отказы корпусных конструкций за 5 лет эксплуатации;
- нефтепроводы с хладостойкими сталями выдерживают 10 циклов замораживания–оттаивания без потери герметичности.

Ключевые слова: сейсморазведка; сейсмоисточники; устойчивость материалов; хладноломкость; низколегированные сплавы.

Работа выполнена в рамках тематики по государственному заданию № FEMR-2024-008.

Список литературы

1. ГОСТ 31342-2017 Сталь и сплавы низколегированные для мостостроения. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2017. 24 с.
2. Иванов А.В., Петров К.С. Хладостойкие стали для арктических конструкций: микролегирование и термомеханическая обработка // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. № 4(54). С. 45–53.

3. Сидоров В.Н., Кузнецова Е.А. Наномодификаторы в смазочных материалах: применение синтетических алмазов // Трение и износ. 2019. Т. 40, № 3. С. 289–297. doi: 10.3103/S106836661903012X
4. gazprom.ru [Электронный ресурс]. Технический отчет ПАО «Газпром». Опыт эксплуатации ледостойкой платформы «Приразломная». Режим доступа: <https://www.gazprom.ru> Дата обращения: 01.03.2025.

Сведения об авторах:

Андриян Александрович Подоров — студент, группа ЭЛм-2401а, Институт машиностроения; Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия. E-mail: podorov.andriyan@yandex.ru

Лев Игоревич Буйлов — студент, группа ЭЛм-2401а, Институт машиностроения; Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия. E-mail: levassbulovss@gmail.com

Дмитрий Сергеевич Якушев — студент, группа ЭЛм-2401а, Институт машиностроения; Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия. E-mail: yakushev.dimka@yandex.ru

Сведения о научном руководителе:

Евгений Сергеевич Глибин — кандидат технических наук, доцент, Институт машиностроения; Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия. E-mail: zhenya118@gmail.com