

© КУЗНЕЦОВ С.М., ГРЕБЕНЮК А.Н., 2017

Кузнецов С.М.<sup>1</sup>, Гребенюк А.Н.<sup>1,2</sup>**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ТОКСИКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ СРЕДСТВ ОБЪЕМНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ**<sup>1</sup> ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, 194044, Санкт-Петербург;<sup>2</sup> ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург

С использованием собственного многолетнего опыта авторов по токсикологическому исследованию и гигиеническому нормированию средств объемного пожаротушения, а также данных анализа отечественных и зарубежных научных публикаций, нормативно-технической литературы, определен перечень основных медико-технических требований к средствам объемного пожаротушения, который позволит использовать имеющиеся средства и целенаправленно вести поиск недостающих сведений об огнегасителе для принятия обоснованного предварительного решения о возможности его применения в замкнутых обитаемых помещениях. В качестве гигиенического регламента предложено устанавливать время безопасного пребывания человека в среде с эффективной огнетушащей концентрацией исследуемого средства объемного пожаротушения, данный регламент должен разрабатываться не как «предельно допустимый», а как «аварийный» – что равно максимально допустимому времени пребывания. При оценке опасности средства объемного пожаротушения обоснован отказ от исследования характера комбинированного действия огнегасителя с факторами самого пожара, а также количественного и качественного состава возможных продуктов его термодеструкции. Предложен алгоритм исследования, который позволит унифицировать токсиколого-гигиеническую оценку средств объемного пожаротушения, повысить сходимость и воспроизводимость получаемых результатов, сэкономить время и средства путем завершения исследований на этапе, результаты которого будут обоснованно свидетельствовать о невозможности использования огнегасителя в присутствии человека без средств защиты органов дыхания.

**Ключевые слова:** гигиеническое нормирование; максимально допустимое время пребывания; медико-технические требования; пожар; средство объемного пожаротушения; токсиколого-гигиеническая оценка.

**Для цитирования:** Кузнецов С.М., Гребенюк А.Н. Современные подходы к токсиколого-гигиенической оценке средств объемного пожаротушения. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(7): 667-671. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-667-671>

**Для корреспонденции:** Кузнецов Сергей Максимович, канд. мед. наук, доц., зав. кафедрой общей и военной гигиены, ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, 194044, Санкт-Петербург. E-mail: [Kusnez-S-Maks@mail.ru](mailto:Kusnez-S-Maks@mail.ru).

Kuznetsov S.M.<sup>1</sup>, Grebenyuk A.N.<sup>1,2</sup>**MODERN APPROACHES TO TOXICOLOGICAL AND HYGIENIC ASSESSMENT OF EXTINGUISHING EXTENSIVE FIRES**<sup>1</sup> S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, 194044, Russian Federation;<sup>2</sup> North-West Scientific Center of Hygiene and Public Health, St Petersburg, 191036, Russian Federation

The analysis of investigations on hygienic and toxicological assessment of the volume of fire extinguishers gives reason to believe that at this stage they do not have a single sound methodical approach. This situation often causes conflicting opinions on the results, calling into question their practical value, makes it difficult to compare fire-extinguishers on hygienic and toxicological criteria, increases the material, labor and time required to perform studies. In the preparation of the paper there was used “many years” personal experience on the toxicological research and hygienic regulation of fire volume extinguishing means, and also the data analysis of domestic and foreign scientific publications, regulatory and technical literature in this area. The list of basic medical and technical requirements to means of fire volume extinguishing, which will allow use of the available information and to seek specifically missing information on fire-extinguishers for the making of an informed decision concerning the possibility of their use in confined manned spaces. As hygiene regulations it is proposed to set the time of human stay in a safe environment with effective fire-extinguishing concentration of the test fire extinguishing agents which can be suggested not as a “maximum allowable”, but as “emergency” – maximum permissible length of stay. When assessing the risk of fire extinguishing means it has been justified the refusal to study the nature of the combined action of fire-extinguishers with the factors of the fire, the quantitative and qualitative composition of the possible products of thermal destruction of fire extinguishing agents. There was proposed an algorithm for the study, which will unify the toxicological and hygienic assessment of fire extinguishing agents, improve the repeatability and reproducibility of the results, save time and money by completing the research at the stage, the results of which could reasonably indicate to the impossibility of the use of fire-extinguishers in the presence of a person without means of enforcement of protection of respiration.

**Key words:** hygienic regulation; toxic-hygienic criteria; the maximum allowable residence time; fire; fire extinguishing agents; toxicological and hygienic assessment

**For citation:** Kuznetsov S.M., Grebenyuk A.N. Modern approaches to toxicological and hygienic assessment of extinguishing extensive fires. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(7): 667-671. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-667-671>

**For correspondence:** Sergey M. Kuznetsov, MD, PhD, Associate Professor, Head of the Department of General and Military Hygiene, S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, 194044, Russian Federation. E-mail: [Kusnez-S-Maks@mail.ru](mailto:Kusnez-S-Maks@mail.ru)

**Information about authors:** Kuznetsov S.M.: <http://orcid.org/0000-0001-5104-5389>; Grebenyuk A.N.: <http://orcid.org/0000-0002-9381-194X>.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: 15.03.17

Accepted: 05.07.17

## Введение

Во все времена пожары были наиболее частой и опасной экстремальной ситуацией. Ущерб от них, особенно в современных условиях, чрезвычайно высок. Он складывается из тяжелых социальных последствий в виде гибели и травматизма людей, огромных материальных потерь и неблагоприятного воздействия на окружающую природную среду.

По данным официального сайта МЧС России (<http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/>; дата обращения – 12.02.2017) только за первое полугодие 2016 г. было зарегистрировано 67 864 пожара, в которых погибли 4549 и были травмированы 4997 человек. В 2015 г. в нашей стране произошло 146 209 пожаров, прямой материальный ущерб от них составил 22 870 367 тыс. руб., погибли 9419 и травмированы 10 977 человек. За период с 2004 по 2013 г. в РФ произошло 2179,1 тыс. пожаров, в них погибли 165,8 тыс. человек (из которых 4% детей), получили различные травмы 142,9 тыс. человек; ежедневный материальный ущерб от пожаров составил  $30,9 \pm 3,2$  млн руб. [1]. Следует отметить, что проблема пожаров характерна не только для России, но и для других стран мира [2, 3].

При решении этой проблемы особое внимание должно быть уделено объектам, представляющим большую социальную значимость, возникновение пожаров и возгораний в которых может угрожать жизни и здоровью находящихся в них людей, дезорганизовать органы управления различного уровня, причинить значительный экономический ущерб, уничтожить исторические и культурные ценности, привести к ухудшению санитарно-эпидемиологического благополучия населения и экологической ситуации. К таким объектам прежде всего относятся здания и сооружения органов управления государством, современные комплексы вооружения и военной техники, атомные электростанции, средства транспорта, здания, вмещающие большое количество людей (в первую очередь высотные), хранилища культурных и материальных ценностей и т.д. Стремление обеспечить необходимый уровень безопасного функционирования указанных объектов влечет за собой комплекс мер по приведению их в такое состояние, при котором исключалась бы возможность пожара, а в случае возгорания имелись бы средства эффективной ликвидации огня, а также средства защиты людей и материальных ценностей.

Одно из направлений решения подобных задач связано с совершенствованием огнетушащих средств [4–6]. Поскольку перечисленные выше объекты в большинстве своем состоят из замкнутых помещений (отсеков), наиболее целесообразными для их защиты признаны средства объемного пожаротушения (СОП) в виде газа или аэрозоля. Эти средства имеют ряд значительных преимуществ перед традиционными поверхностными огнегасителями (водой, землей, пеной). Они позволяют быстрее и надежнее прекратить горение практически любого материала в любой части защищаемого объема, удобны для применения в автоматических системах противопожарной защиты и в объектах, имеющих габаритно-весовые ограничения. Особенно актуален поиск безопасных СОП, пригодных для применения в замкнутых обитаемых помещениях [6, 7].

Закономерно, что в комплексе проводимых в этой области разработок важное место занимают токсикологическое исследование и гигиеническое нормирование соединений, предлагаемых в качестве пожаротушащих агентов. Вместе с тем анализ исследований в этом направлении дает основание утверждать, что на современном этапе гигиеническая регламентация и токсиколого-гигиеническая оценка средств объемного пожаротушения не имеют единого обоснованного методического подхода. Такое положение нередко служит причиной разноречивых заключений по полученным результатам, ставит под сомнение их практическую ценность, затрудняет сравнение огнегасителей по токсиколого-гигиеническим критериям, увеличивает материальные, трудовые и временные затраты на выполняемые исследования.

Цель исследования: обосновать методические подходы, разработать алгоритм и методику постановки исследований по токсиколого-гигиенической оценке и гигиенической регламентации СОП для ликвидации очага возгорания в замкнутых помещениях в присутствии людей без средств индивидуальной защиты.

При подготовке статьи использованы данные анализа отечественных и зарубежных научных публикаций, а также нормативно-технической литературы в этой области, собственный многолетний опыт авторов по токсикологическому исследованию и гигиеническому нормированию СОП.

Экспериментальные работы выполнялись в Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова. Из газовых СОП исследовали гексафторид серы ( $SF_6$ ) и хладоны 13B1 ( $CF_3Br$ ), 114B2 ( $C_2F_4Br_2$ ), 124B1 ( $C_2F_4BrH$ ), 125 ( $C_2F_5H$ ), 227ea ( $C_3F_7H$ ) и 318 ( $C_4F_8$ ); из аэрозольобразующих огнегасителей – СТК-268, СТК-111, ПАС-47 и ПАС-11-8.

В качестве биообъекта в серии математически спланированных экспериментов использовали взрослых особей белых беспородных крыс и мышей. Острое динамическое и статическое ингаляционное воздействие огнегасителей в воздухе специальной затравочной камеры оценивали по изменению величин физиологических показателей, характеризующих функциональное состояние ЦНС и кардиореспираторной системы грызунов, а также по их способности переносить физическую нагрузку. Кроме того, с помощью биохимических методов и патоморфологических исследований устанавливали изменения, происходившие в организме животных на органотканевом и клеточном уровнях. Во время эксперимента контролировали химический состав, температуру и давление среды, сформировавшейся в затравочной камере. На завершающем этапе сравнивали влияние хладонов 13B1 и 114B2 совместно с оксидом углерода и температурой воздуха на показатели функционального состояния и операторскую деятельность испытуемых-добровольцев [8].

Полученные результаты подвергались математическому анализу с применением методов параметрической и непараметрической статистики, включая расчет числовых характеристик величин изучаемых показателей, проверку статистических гипотез, корреляционный и дисперсионный методы анализа данных.

Собственные исследования и анализ работ других авторов показали, что при выборе оптимального средства пожаротушения для обитаемых помещений необходимо принимать во внимание ряд свойств. В частности, СОП должны удовлетворять совокупности медико-технических требований:

1) не оказывать неблагоприятного влияния на организм, умственную и физическую работоспособность человека без средств защиты. Это свойство зависит от токсичности самого СОП, состоящего из одного или нескольких веществ, а также продуктов его (их) термического разложения, характера комбинированного действия огнегасителя с неблагоприятными факторами пожара, выраженности органолептических свойств (раздражающий запах, ухудшение видимости и др.);

2) обладать высокой огнетушащей эффективностью, т.е. способностью быстро и надежно прекращать горение любых материалов меньшим количеством. Чем выше величина эффективной огнетушащей концентрации, тем больше масса и габариты системы пожаротушения, тем продолжительнее достижение необходимой концентрации СОП в защищаемом помещении, тем сильнее разбавляется в нем воздух, тем выше вероятность неблагоприятного воздействия формирующейся газовой среды на человека. В свою очередь, в прямой зависимости от времени горения в аварийном помещении находятся уровни поражающих факторов пожара (нагревание воздуха, предметов и ограждений; накопление токсичных продуктов термодеструкции; выгорание кислорода; снижение видимости вследствие задымления и т.д.);

3) иметь агрегатное состояние, обеспечивающее в момент применения подавление горения во всем объеме защищаемого помещения, а после его ликвидации – легкое удаление. Чем ниже температура кипения вещества, используемого в качестве огнегасителя, тем шире температурный диапазон его применения. Газы из аварийного помещения после ликвидации очага горения удаляются значительно эффективнее, чем мелкодисперсный аэрозоль из жидких или твердых частиц, к тому же они не оседают на поверхностях и не ухудшают видимость;

4) быть хорошими диэлектриками, а следовательно, безопасно применяться для ликвидации возгораний в помещениях с электрическими приборами, оборудованием и коммуникациями, находящимися под напряжением;

5) отличаться химической инертностью, что предполагает биологическую безопасность и возможность применения в помещениях со сложным дорогостоящим оборудованием и художественными ценностями; немаловажно при применении в присутствии широко распространенных веществ, конструкционных и отделочных материалов; упрощает условия хранения;

6) обладать высокой молекулярной стабильностью, от которой зависят длительность хранения и термическая устойчивость к деградации при контакте с пламенем и нагретыми поверхностями;

7) не ухудшать экологическое благополучие окружающей среды, иметь низкую себестоимость; установки по применению средств пожаротушения должны выгодно отличаться по цене, габаритно-весовым параметрам, простоте устройства и использования. Для небольших и насыщенных оборудованием объектов желательны малые системы с небольшими объемами для хранения СОП. Для газообразных соединений этому способствуют низкая огнетушащая концентрация, высокая плотность в жидком состоянии, низкая температура и давление насыщенных паров; для аэрозольных – генерирование из твердого вещества.

Следует подчеркнуть, что гигиенический интерес прямо или опосредованно представляет каждое из вышеперечисленных требований.

Анализ доступных научных публикаций позволил установить, что ряд авторов рекомендуют осуществлять токсикологическую оценку СОП путем проведения их специальных испытаний в огнетушащих концентрациях, определяя при этом комплекс показателей, характеризующих опасность кратковременного воздействия на биообъекты не только испытываемых веществ, но и продуктов их термического разложения [9, 10]. При этом рекомендуемый перечень базовых показателей, изучаемых в опытах на мелких лабораторных животных, включает в себя: их выживаемость; изменения в поведении и общем состоянии их во время экспозиции, так и в последующие 10 суток; физическую работоспособность; частоту и ритм сокращений сердца; частоту дыхания; концентрацию фтороводорода. Кроме того, предлагается учитывать параметры острой токсичности ( $CL_{50}$ ,  $Lim_{ac}$ ), величины LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level – наименьшая доза, оказывающая явное нежелательное действие) и NOAEL (No Observed Adverse Effect Level – максимальная доза, не оказывающая явного вредного воздействия), ПДК, ОБУВ и МДК. Сопоставляя полученные результаты, судят об опасности токсического воздействия СОП в огнетушащей концентрации, а также осуществляют их сравнение, при этом гигиеническая регламентация не проводится.

В то же время имеются исследования, которые направлены прежде всего на разработку гигиенических нормативов, но применительно к самим веществам, используемым в качестве СОП. В этих работах обоснование величины норматива на короткие экспозиции осуществляется аналогично общепринятой методике по разработке ПДК химических веществ в воздухе при ингаляционном воздействии [11]. Установленный таким образом норматив будет определять допустимый безопасный уровень вещества во вдыхаемом воздухе и только косвенно позволит судить о его безопасности в эффективной огнетушащей концентрации, в которой оно будет применяться для ликвидации возгорания. Однако из практических соображений принципиально важно иметь гигиенический норматив вещества в диапазоне концентраций, способных эффективно подавлять горение, так как его применение в меньших концентрациях лишено смысла, а в больших нерационально.

В отличие от приведенных подходов, мы предлагаем в качестве гигиенического регламента СОП рассматривать время безопасного пребывания человека в воздушной среде, содержащей вещество, применяемое для ликвидации возгорания, в эффективной огнетушащей концентрации. При постановке экспериментальных исследований необходимый биологический эффект будет достигаться только путем изменения времени ингаляционного воздействия вещества в диапазоне эффективной огнетушащей концентрации.

При этом временной регламент должен разрабатываться не как «предельно допустимый», а как «аварийный». В качестве такового предлагаем устанавливать «максимально допустимое время пребывания» (МДВП), которое по своей сути аналогично

понятию «максимально допустимая концентрация», предложенному отечественными учеными для обозначения «аварийных» концентраций химических веществ [12]. Под МДВП мы понимаем наибольший период, в течение которого при однократном воздействии вредного вещества (веществ) в определенной концентрации (концентрациях) сохраняется способность человека осуществлять мероприятия по ликвидации аварии и ее последствий, но допускаются снижение до определенного уровня умственной и физической работоспособности и возникновение ряда функциональных изменений в организме с восстановлением всех показателей в пределах одной недели после аварии. Таким образом, соблюдение этого норматива для условий воздействия химического соединения в заданной концентрации гарантирует сохранение здоровья и жизни человека, оказавшегося в очаге пожара.

Как и для МДК, в качестве главного критерия при установлении МДВП необходимо рассматривать снижение исходной работоспособности в границах от 10 до 30%, которое восстанавливается не позднее 7 суток после воздействия токсиканта. Такой диапазон обоснован тем, что снижение работоспособности менее 10% характерно для ее индивидуальных колебаний в обычных условиях, а более 30% – отражает выраженное (патологическое) ухудшение функционального состояния организма человека, способное препятствовать осуществлению мероприятий по ликвидации аварии и спасению. Кроме того, данный критерий подкрепляется результатами изучения функциональных изменений в ряде интегральных систем организма (ЦНС, сердечно-сосудистой, респираторной и др.).

При разработке МДВП в условиях воздействия эффективной огнетушащей концентрации СОП принимаются во внимание чрезвычайность и особенности этого события. Понятно, что продолжающееся горение сопряжено с фатальным риском для жизни и здоровья человека, оказавшегося в аварийном помещении, а само событие является относительно редким и кратковременным.

Предлагаемый норматив позволит проводить объективное сравнение токсичности СОП в огнетушащих концентрациях и сможет служить критерием выбора огнегасителя для защиты обитаемых помещений. Помимо этого, он может использоваться с целью прогнозирования функционального состояния организма людей, находящихся в аварийном помещении без средств защиты органов дыхания, для расчета времени проведения спасательных работ, а также для разработки технических требований к средствам жизнеобеспечения.

Кроме того, мы считаем нецелесообразным для оценки опасности СОП устанавливать характер комбинированного воздействия огнегасителя с факторами самого пожара, определять количественный и качественный состав возможных продуктов его термодеструкции, а также разрабатывать для этих случаев гигиенические нормативы.

По техническим характеристикам современные системы объемного пожаротушения не должны допускать развития полномасштабного пожара. Они должны срабатывать на возгорание и подавлять его в считанные секунды [13]. При соблюдении этих требований, факторы, связанные с горением, в том числе и количество продуктов термического разложения самого огнегасителя, не достигнут уровней, способных ухудшить работоспособность и здоровье человека, находящегося в аварийном помещении. Следовательно, при регламентированном срабатывании системы объемного пожаротушения основную опасность для людей в указанных условиях будет представлять собственно СОП, максимальная концентрация которого в защищаемом объеме будет равна эффективной огнетушащей.

При ликвидации полномасштабного пожара в замкнутом объеме уровень токсичности самого СОП, а также количество и токсичность продуктов его термодеструкции принципиального значения не имеют, поскольку экспериментально установлено и из практического опыта известно, что поражающие факторы пожара достигают величин, несовместимых с жизнью человека, уже в его начальных стадиях [14–17].

Токсикологическую оценку СОП предлагаем проводить поэтапно в общепринятой последовательности [18], но с учетом специфики практического использования вещества. Это

позволит унифицировать исследовательскую работу, повысить сходимость и воспроизводимость получаемых результатов, сэкономить время и средства путем завершения исследований на этапе, результаты которого позволяют обоснованно утверждать, что использование СОП в присутствии человека без средств защиты невозможно. В качестве основных этапов мы выделяем:

- поиск в литературе информации, отражающей токсикологическую характеристику вещества (веществ), предполагаемого (предлагаемых) для использования в качестве СОП и/или его аналогов, а также его (их) химическую структуру, основные физические и химические свойства (молекулярная масса, плотность, температура кипения, растворимость в воде, коэффициент растворения масло/вода, упругость пара при 20°C и т.д.); сведений об эффективной огнетушащей концентрации СОП (в отношении многокомпонентного огнегасителя – также о доле каждого соединения), температуре термической деструкции, образующихся продуктах и их опасности;

- прогнозирование на основании полученных сведений характера и степени биологической активности СОП при изолированном воздействии;

- при отсутствии информации в научной литературе – определение параметров острой токсичности веществ в экспериментах с подопытными животными, сравнение полученных величин с эффективной огнетушащей концентрацией;

- установление в экспериментах на лабораторных животных характера общебиологической зависимости между временем и эффектом воздействия огнегасителя в эффективной огнетушащей концентрации, экстраполяция полученных результатов на человека, обоснование МДВП;

- исследование воздействия СОП в огнетушащей концентрации при экспозиции, равной МДВП, на функциональное состояние организма испытуемых-добровольцев;

- оформление заключения по результатам исследования.

Преимущества предлагаемых методологических подходов к токсиколого-гигиенической оценке СОП можно продемонстрировать на примере нижеприведенных фактологических данных, полученных нами в экспериментах на белых беспородных крысах при статическом ингаляционном воздействии изучавшихся огнетушащих газов.

В ходе проведенных исследований было установлено, что хладон 124В1 в огнетушащей концентрации обладает выраженным наркотическим действием. Этот факт, в соответствии с предлагаемым нами методологическим подходом, достаточен, чтобы считать данное соединение опасным для применения в присутствии человека без средств защиты и не проводить дальнейшие исследования в этом направлении.

Напротив, хладоны 125 и 227еа имеют большую перспективу для использования в обитаемых объектах, поскольку в наших исследованиях отмечены их низкая токсичность и практически полное отсутствие наркотического действия. Эти соединения нуждаются в более глубоком исследовании.

Гексафторид серы по своим физико-химическим свойствам отчасти аналогичен хладонам: у него нет запаха, он неэлектропроводен, в обычных условиях инертен, относительно термостабилен; при этом его объемная огнетушащая концентрация более чем в 3 раза выше, чем у хладона 13В1. Смертельные концентрации гексафторида серы не установлены; четырехчасовая однократная статическая затравка газом в концентрации 82 об.% не вызвала у крыс каких-либо выраженных признаков интоксикации как во время эксперимента, так и в течение последующих двух недель наблюдения. В соответствии с предлагаемым подходом уже эти первоначальные фактологические данные свидетельствуют о высокой перспективности использования гексафторида серы в качестве огнетушащего средства.

Для подтверждения обоснованности этой гипотезы была проведена сравнительная оценка биологической активности гексафторида серы и хладона 13В1 в огнетушащих концентрациях. Огнегасители сравнивались по биологическому эффекту от однократного изолированного воздействия, по токсичности среды, образующейся при тушении пламени этилового спирта, и по характеру комбинированного действия с оксидом углерода. Результаты этих исследований дают основание рассматривать гексафторид серы как возможную альтернативу хладону 13В1

для применения в обитаемых помещениях, что согласуется с выводами других авторов [9, 11]. Тем не менее считаем, что для принятия окончательного решения необходимо дальнейшее всестороннее изучение этого соединения.

## Выводы

1. Предлагаемый подход к проведению токсиколого-гигиенической оценки СОП и разработке их гигиенических нормативов существенно отличается от такового для химических соединений, загрязняющих воздух атмосферы и рабочих мест. Он может выступать в качестве базисной оценки химических веществ, используемых в качестве огнегасителей для последующего их исследования в концентрациях, отличающихся от огнетушащих.

2. Метод может рассматриваться в контексте развития теории гигиенического нормирования применительно к ситуациям, когда уровень химических соединений во вдыхаемом воздухе предопределен величиной концентрации их эффективного практического применения.

3. Предлагаемые методические посылки и дизайн исследования позволяют унифицировать токсиколого-гигиеническую оценку СОП, повысить сходимость и воспроизводимость получаемых результатов, сэкономить время и средства путем завершения исследований на этапе, результаты которого позволяют обоснованно утверждать, что использование огнегасителя в присутствии человека без средств защиты органов дыхания невозможно.

4. Представленный подход будет способствовать решению проблемы разработки и внедрения эффективного СОП, позволяющего сохранить жизнь, здоровье и дееспособность человека в условиях ликвидации очага возгорания.

5. Результаты работы могут быть использованы для подготовки методических рекомендаций по токсиколого-гигиенической оценке и гигиенической регламентации СОП.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература (п.п. 2–4 см. References)

1. Евдокимов В.И. Анализ потенциальных опасностей для населения России при возникновении чрезвычайных ситуаций, пожаров и происшествий на водных объектах в 2004–2013 гг. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2014; (4): 5–16.
5. Скорняков В.В., Леонтьев Н.И., Кузнецов С.М. Средства объемного пожаротушения в обитаемых помещениях. *Военно-медицинский журнал*. 2001; 322(8): 13–7.
6. Кузнецов С.М. Оптимизация выбора средств объемного пожаротушения для обитаемых образцов вооружения и военной техники. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2009; (5): 76–8.
7. Гребенюк А.Н., Баринов В.А., Башарин В.А. Профилактика и медицинская помощь при отравлениях токсичными продуктами горения. *Военно-медицинский журнал*. 2008; 329(3): 26–32.
8. Кузнецов С.М., Скорняков В.В. Сравнительная оценка комбинированного воздействия фреонов 13В1 и 114В2 с основными факторами пожара (оксидом углерода и температурой воздуха) на организм человека. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2009; (1): 11–5.
9. Иличкин В.С., Сидорин Г.И., Елисеев Ю.Н., Белоусов Ю.Ю. Оценка опасности токсического воздействия огнетушащих газов и аэрозолей, применяемых для объемного пожаротушения. М.: ВНИИПО; 2005.
10. Гусев И.В. Методический подход к оценке острой опасности средств пожаротушения и продуктов их термического разложения. В кн.: *Материалы Всесоюзной научной конференции «Токсикологические проблемы химических катастроф»*. Ленинград; 1991: 36
11. Скорняков В.В., Востряков В.И. Изучение токсичности галонов 1301 и 2402 по показателям неврологического статуса и спонтанного поведения приматов (макака-резус). *Пожарная защита судов*. 1979; (10): 53–67.
12. Довгуша В.В., Тиунов Л.А., Румянцева А.П. Принципы токсиколого-гигиенического регламентирования вредных веществ в воздушной среде корабельных помещений. *Морской медицинский журнал*. 1994; 2(5-6): 23–6.
13. СП 5.13130.2009. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. М.; 2009.
14. Гребенюк А.Н., Кушнир Л.А. Оценка профессионального риска здоровью пожарных от воздействия химических веществ. *Медицина труда и промышленная экология*. 2010; (12): 10–4.

15. Башарин В.А., Гребенюк А.Н., Маркизова Н.Ф., Преображенская Т.Н., Сарманаев С.Х., Толкач П.Г. Химические вещества как поражающий фактор пожаров. *Военно-медицинский журнал*. 2015; 336(1): 22–8.
16. Иличкин В.С. *Токсичность продуктов горения полимерных материалов. Принципы и методы определения*. СПб: Химия; 1993.
17. Гусев И.В. Анализ воздействия опасных факторов пожара на человека и основные направления их исследования применительно к судовым условиям. *Пожарная защита судов*. 1980; (11): 76–9.
18. Лойт А.О., Луковникова Л.В., Хаславская С.Л., Шилов В.В., Чашчин М.В., Ерепелов Ф.А. и др. *Этапность токсиколого-гигиенических исследований*. СПб.: Издательский дом СПбМАПО; 2006.
- oxide and air temperature) on the human body. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2009; (1): 11–5. (in Russian)
9. Ilichkin V.S., Sidorin G.I., Eliseev Yu.N., Belousov Yu.Yu. *The Risk Assessment of Toxic Effects of Fire Extinguishing Gases and Aerosols Used for Fire Extinguishing [Otsenka opasnosti toksicheskogo vozdeystviya oagnetushashchikh gazov i aerorozley, primenyaemykh dlya ob'emnogo pozharotusheniya]*. Moscow: VNIPO; 2005. (in Russian)
10. Gusev I.V. The methodical approach to the assessment of the acute danger of fire extinguishing equipment and products of their thermal decomposition. In: *Materials of the All-Union Scientific Conference «Toxicological Problems of Chemical Catastrophes» [Materialy Vsesoyuznoy nauchnoy konferentsii «Toksikologicheskie problemy khimicheskikh katastrof»]*. Leningrad; 1991: 36. (in Russian)
11. Skornyakov V.V., Vostryakov V.I. Studying the toxicity of halon 1301 and 2402 in terms of neurological status and spontaneous behavior of primates (rhesus monkeys). *Pozharnaya zashchita sudov*. 1979; (10): 53–67. (in Russian)
12. Dovgusha V.V., Tiunov L.A., Remyantseva A.P. Principles of toxicology and hygienic regulation of harmful substances in the air space ship. *Morskoy meditsinskiy zhurnal*. 1994; 2(5-6): 23–6. (in Russian)
13. SP 5.13130.2009. Set of rules. Fire protection systems. Installation of fire alarm and fire automatic. Moscow; 2009. (in Russian)
14. Grebenyuk A.N., Kushnir L.A. Evaluation of professional fire risk to health from exposure to chemicals. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2010; (12): 10–4. (in Russian)
15. Basharin V.A., Grebenyuk A.N., Markizova N.F., Preobrazhenskaya T.N., Sarmanaev S.Kh., Tolkach P.G. Chemicals like hitting the fire factor. *Voенно-медицинский журнал*. 2015; 336(1): 22–8. (in Russian)
16. Ilichkin V.S. *The Toxicity of the Combustion Products of Polymeric Materials. Principles and Methods for the Determination [Toksichnost' produktov goreniya polimernykh materialov. Printsipy i metody opredeleniya]*. St. Petersburg: Khimiya; 1993. (in Russian)
17. Gusev I.V. Analysis of the impact of hazardous factors of fire on people and the main directions of research in relation to the ship's conditions. *Pozharnaya zashchita sudov*. 1980; (11): 76–9. (in Russian)
18. Loit A.O., Lukovnikova L.V., Haslavskaya S.L., Shilov V.V., Chashchin M.V., Erpelev F.A., et al. *Stages of Toxicological and Hygienic Studies [Etapnost' toksikologo-gigienicheskikh issledovaniy]*. St. Petersburg: Izdatel'skiy dom SPBMAPO; 2006. (in Russian)

Поступила 15.03.17

Принята к печати 05.07.17

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

Зарицкая Е.В.<sup>1</sup>, Полозова Е.В.<sup>1,2</sup>, Богачева А.С.<sup>1,2</sup>

## СОВРЕМЕННЫЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

<sup>1</sup> Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург;

<sup>2</sup> ГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, 191015, Санкт-Петербург

С развитием промышленности, хозяйственной деятельности, появлением новых химических соединений, материалов и изделий проблема охраны окружающей среды и химической безопасности человека становится всё более актуальной. В соответствии с законодательством большинства стран мира, в том числе Российской Федерации, все химические вещества, материалы и изделия, отходы производства и потребления, потенциально опасные для человека, должны подвергаться токсикологической экспертизе. Классические методы токсикологических исследований химических соединений, продуктов и товаров, их содержащих, являются трудоёмкими, длительными, дорогостоящими и, как правило, требуют использования больших количеств различных видов лабораторных животных, в том числе млекопитающих, что затруднено с этической точки зрения. В последние десятилетия, интенсивно ведутся поиски новых альтернативных испытаний и инструментов, способных достоверно отражать воздействие различных токсикантов на организм человека. Показано, что для оценки и нормирования качества продукции и объектов окружающей среды (особенно при исследовании парфюмерно-косметической продукции в связи с запретом тестирования косметики и ее ингредиентов на животных в странах Европейского союза) приоритетным является использование санитарно-токсикологических методов. Приведены общие характеристики и возможности альтернативных методов определения токсичности, таких как: компьютерное моделирование токсичности (методы *in silico*), группирование подобных химических веществ в категории, лабораторные исследования (методы *in chemico*, *ex vivo*, *in vitro*). Охарактеризованы современные альтернативные методы, которые нашли наиболее широкое применение в санитарно-токсикологических исследованиях.

Ключевые слова: альтернативные методы; биотестирование; гидробионты; клеточная культура; тест-объект; санитарно-токсикологическая оценка; токсическая реакция; обзор.

**Для цитирования:** Зарицкая Е.В., Полозова Е.В., Богачева А.С. Современные альтернативные токсикологические методы исследования и перспективы их использования в практической деятельности. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(7): 671–674. DOI: <http://dx.doi.org/10.1882/0016-9900-2017-96-7-671-674>

**Для корреспонденции:** Зарицкая Екатерина Викторовна, зав. санитарно-гигиенической лаб. ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, E-mail: [zev-79@mail.ru](mailto:zev-79@mail.ru)