

новая панель вполне подходит для создания энергоэффективной вертикальной ограждающей конструкции.

Выводы.

Использование наружных ограждающих конструкций, разработанных в соответствии с технологиями активного энергосбережения, обеспечивает значительное повышение тепловой защиты здания и способствует формированию оптимальных параметров микроклимата внутри помещений, позволяя при этом снизить потребление тепла и электроэнергии. Такой подход к повышению энергоэффективности наружных ограждающих конструкций сочетает в себе принципы, лежащие в основе системы активного энергосбережения, с механизмами рекуперации тепла и может быть применен при реконструкции зданий различного назначения, в том числе промышленных.

За счет улучшения теплотехнических свойств светопропускающих оболочек, разработанных на основе систем активного энергосбережения, создаются условия, необходимые для остекления фасадов большей площади, что, в свою очередь, способствует более оптимальной организации естественного освещения при строительстве и реконструкции промышленных зданий и сооружений.

Светопропускающие конструкции, работающие по принципу систем активного энергосбережения, можно использовать при производстве термопанелей SPANS TЕНFOM и трехслойной стеновой

наружной панели с повышенной несущей способностью, заменив тем самым традиционные стеклопакеты.

Список литературы

1. Ахмяров Т. А., Беляев В. С., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Система активного энергосбережения с рекуперацией тепла. [Электронный ресурс] URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5551.
2. Ахмяров Т. А., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Новые решения для светопрозрачных конструкций // Светотехника. 2015. №2. С. 51 – 56.
3. Ахмяров Т. А., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Новый подход к повышению энергоэффективности зданий. [Электронный ресурс] URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5871.
4. Ахмяров Т. А., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Энергоэффективные вентилируемые светопрозрачные ограждающие конструкции // Энергосбережение. 2015. №1. С. 64 – 69.
5. Данель В.В. Трехслойные наружные стеновые панели с повышенной несущей способностью // Жилищное строительство. 2014. № 7. С. 48–51.
6. Патент РФ2295622. Вентилируемое окно / Ахмяров Т. А.; Заявл. 14.03.2005. Оpubл. 20.03.07. Бюл. № 8.
7. Шубин И.Л., Спиридонов А.В. Законодательство по энергосбережению в США, Европе и России. Пути решения // Вестник МГСУ. 2011. № 3 - 1. С. 4-14.

СРЕДСТВА ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ РАЗЛИТЫХ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Елагин Г.И.
инженер научно-исследовательской лаборатории инноваций в сфере гражданской безопасности,
Куценко М.А.
заместитель начальника Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля,
Алексеев А.Г.
доцент Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля,
Нуязин А.М.
начальник научно-исследовательской лаборатории инноваций в сфере гражданской безопасности,
Несен И.О.
адъюнкт
Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля
Национального университета гражданской защиты Украины

EXTINGUISHING MEDIA FOR SPILLED FLAMMABLE LIQUIDS

Jelagin G.,
Senior researcher of Research Laboratory of Innovations in the Field of Civil Safety
Kutsenko M.,
Deputy Head of the Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes
Alekseev A.,
Assistant Professor of the Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes
Nuianzin A.,
Head of Research Laboratory of Innovations in the Field of Civil Safety
Nesen I.
Adjunct
of the Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes
of National University of Civil Defence of Ukraine
DOI: [10.24412/9215-0365-2022-84-1-15-25](https://doi.org/10.24412/9215-0365-2022-84-1-15-25)

Аннотация

Разлив нефти и нефтепродуктов на поверхности водоема, кроме прямого материального ущерба, приводит к экологическим катастрофам. Дополнительный вред окружающей среде наносит горение этих углеводородов. При таких пожарах образуется большое количество вредных веществ, которые способствуют глобальному потеплению и оказывают отравляющее действие на людей и животных. Для сбора жидкостей, разлитых на поверхности водоема, создано несколько способов и средств, которые базируются либо на собирании верхних слоев воды с последующей сепарацией, либо на использовании различного типа рода сорбентов. Однако, применение созданных разными странами, фирмами и отдельными изобретателями средств борьбы с разливами нефти возможно лишь при условии свободного доступа к нефтяному пятну. Такого доступа нет, пока продолжается пожар. Его необходимо срочно потушить, чтобы возможно скорее начать использование разработанных средств борьбы с разливами нефти и таким образом уменьшить ее распространение. Известные на сегодняшний день средства тушения пожаров в случае горения разлитых на поверхности моря нефти и нефтепродуктов неэффективны. Приведены результаты разработок серии новых огнетушащих средств, предназначенных для тушения таких пожаров. Средства представляют собой высокопористые носители с размерами частиц от 1 до 5 мм (вспученный вермикулит или древесная стружка) с иммобилизованными на внутренних стенках капилляров огнетушащими агентами, огнетушащими солями или смесью, которая под действием температуры пожара образует огнетушащий аэрозоль. В качестве иммобилизаторов используются огнетушащие соли (аммоний- и диаммонийфосфат), смесь окислителя (калий нитрат) с восстановителем (поливиниловый спирт), или (при использовании древесной стружки) только окислитель. В последнем случае функцию восстановителя выполняет сам носитель. Разработанные средства могут достаточно долго находиться на поверхности водоема, т.е. в зоне горения, относительно недорого и абсолютно безвредны.

Abstract

The spill of oil and oil products on the surface of the reservoir, in addition to direct material damage, leads to environmental disasters. The combustion of these hydrocarbons causes additional harm to the environment. In such fires, a large amount of harmful substances are formed, which contribute to global warming and have a toxic effect on people and animals. To collect liquids spilled on the surface of the reservoir, several methods and means have been created, which are based either on the collection of the upper layers of water with subsequent separation, or on the use of various types of sorbents. However, the use of oil spill control tools created by different countries, firms and individual inventors is possible only if there is free access to the oil slick. There is no such access as long as the fire continues. It urgently needs to be extinguished in order to start using the developed oil spill control measures as soon as possible and thus reduce its spread. The currently known means of extinguishing fires in the event of burning oil and oil products spilled on the sea surface are ineffective. The results of the development of a series of new fire extinguishing agents designed to extinguish such fires are presented. The means are highly porous carriers with particle sizes from 1 to 5 mm (expanded vermiculite or wood chips) with fire extinguishing agents, fire extinguishing salts or a mixture immobilized on the inner walls of the capillaries, or a mixture that forms a fire extinguishing aerosol under the influence of the fire temperature. Fire-extinguishing salts (ammonium and diammonium phosphate), a mixture of an oxidizing agent (potassium nitrate) with a reducing agent (polyvinyl alcohol), or (when using wood chips) only an oxidizing agent are used as immobilizers. In the latter case, the carrier itself acts as a reducing agent. The developed means can stay on the surface of the reservoir for a long time, i.e. in the combustion zone, relatively inexpensive and completely harmless.

Ключевые слова: пожар, огнетушащие средства, иммобилизация, вспученный вермикулит, древесная стружка, огнетушащий аэрозоль.

Keywords: fire, fire extinguishing agents, immobilization, expanded vermiculite, wood chips, fire extinguishing aerosol.

Введение. В современном мире в очень больших объемах используются нефть и продукты ее переработки. Нефть добывается в определенных регионах и дальше, или перерабатывается в том же регионе, или транспортируется «в сыром виде» до более удобного места переработки. Основные компоненты нефти – это углеводороды и все они относятся к особо опасным горючим жидкостям. Несмотря на серьезные меры предосторожности, пожары с горением разлитых горючих жидкостей возникают и в местах добычи нефти, и в местах ее переработки, и при использовании этих продуктов, и, в особо больших масштабах, при транспортировании всех углеводородов морскими и речными путями. Последняя операция – наиболее частый источник возникновения масштабных пожаров.

Транспортировка водой - самый дешевый способ доставки углеводородов к месту их переработки или потребления. И, чем больший тоннаж имеет танкер, тем дешевле обходится доставка тонны груза. Поэтому современные танкеры за один рейс везут тысячи тонн опасной жидкости. Они очень уязвимы и соблазнительны для террористов разных идеологий. В меньшей мере, но тоже случаются, и аварии, вызванные природными причинами (шторм, удар молнии и др.) а также нарушением условий безопасного обращения с горючими жидкостями. Аварии таких танкеров, вызванные природными причинами или террористическими актами, ведут к разливу горючей жидкости на поверхность водоема. Такой разлив вреден сам по себе, поскольку губительно действует на флору и фауну водоема, на птиц, которые

питаются возле водоема, на рыбный промысел и на побережье. Нефть и большинство нефтепродуктов легче воды, особенно морской, поэтому они при разливе плавают на поверхности водоема. В таком состоянии они быстро распространяются от источника разлива во все стороны аж до побережья, превращая акваторию моря, залива, океана на зону экологического бедствия.

Еще хуже то, что в большинстве случаев такой разлив сопровождается еще и горением, которое продуцирует огромное количество продуктов полного и неполного сгорания, что ведет к дополнительным экологическим последствиям. При таких пожарах образуются [1]:

- углекислый газ, который способствует глобальному потеплению;
- угарный газ, яд для людей и животных;
- дым, который представляет собой зависшие в газообразных продуктах сгорания несгоревшие твердые и жидкие частички, имеет канцерогенные свойства и снижает прозрачность атмосферы;
- другие продукты неполного сгорания.

Кроме того, при пожарах с участием нефти в первую очередь выгорают легкие углеводороды, оставляя трудно горючую смесь мазута с битумом, с плотностью, близкой к плотности морской воды. Такая смесь опускается и плавает в толще воды. Использовать для ее ликвидации способы сбора, разработанные для разлитой нефти, не представляется возможным. Эти остатки могут перемещаться на большие расстояния и долгое время создавать экологическую опасность для морских животных и планктона [2,3]. Мало помогают и используемые с 1967 г. дисперсанты, т.е. вещества, связывающие нефтепродукты в агрегаты, которые затем опускаются в толщу воды. Как оказалось, токсичны и дисперсанты сами по себе, и образованные с нефтью комплексы, которые опускаются на дно. Их применение на мелководье или в реках особенно опасно для экосистем. Использование дисперсанта Corexit 9500 компанией British Petroleum в 2010 году обернулось затем для нее дополнительным иском от жителей побережья, пострадавшего от разлива нефти из скважины. Ученые доказали его вред для устриц и водных рачков (модельных организмов токсикологических исследований), и потенциальную опасность для здоровья людей [4].

В любом случае, использование созданных разными странами, фирмами и отдельными изобретателями средств борьбы с разливами нефти возможно лишь при условии свободного доступа к нефтяному пятну. Такого доступа нет, пока продолжается пожар. Его необходимо срочно потушить, чтобы возможно быстрее начать использовать разработанные способы борьбы с разливами нефти и таким образом уменьшить ее растекание. Следовательно, ликвидация подобных аварий в первую очередь начинается с ликвидации пожара, для чего нужны соответствующие средства. Между тем, большая часть существующих средств тушения пожаров в этих случаях вообще неприменимы или малоэффективны и вредны для окружающей среды.

Постановка проблемы. Пожары с горением разлитых горючих жидкостей вообще одни из самых сложных для тушения. Тем бол ее это относится к пожарам на больших пространствах и, особенно, на поверхности моря или другого водоема. А возникают такие пожары достаточно часто. Примеры некоторых из них можно найти, в том числе, в последних сообщениях [5-12].

Исходя из того, что достаточно эффективных и безвредных для экологии средств тушения пожаров при горении разлитых горючих жидкостей практически не существует, целью исследований, результаты которых приведены в данной статье, была разработка новых средств тушения таких пожаров. Основными их свойствами должны быть эффективность и длительность действия, экологическая безвредность, невысокая себестоимость и несложная технология изготовления.

Анализ последних исследований и публикаций. Для тушения пожаров жидкостей используют с разной эффективностью все четыре типа из известных на сегодняшний день средств: охлаждающие, флегматизирующие, изолирующие и ингибирующие [13]. Но большая часть этих методов более-менее эффективны при тушении пожаров в помещениях или пожаров небольших размеров. Например, при загорании в резервуарах небольшого диаметра, когда средство можно подать одновременно на всю поверхность. При большой площади пожара, особенно на открытых пространствах, да еще и на поверхности водоема (моря, океана), применение большинства из таких средств становится проблематичным, а часто и просто невозможным.

В практике тушения пожаров наибольшее применение находят охлаждающие средства, в первую очередь вода и вода с добавками, которые предназначены для улучшения тех или других ее свойств. Однако, при всех преимуществах, применение воды имеет и ограничения. Главное из них – невозможность использования воды для тушения пожаров при горении жидкостей, которые имеют удельную плотность, меньшую, чем вода. Вода практически мгновенно уходит под поверхность такой жидкости и зона горения, которая находится над поверхностью горючей жидкости, остается без защиты. Больше того, вода способна растекаться по поверхности и разносить жидкость, которая горит, по этой поверхности, увеличивая таким образом площадь пожара.

Тушение газообразными средствами, которые снижают концентрацию горючих паров в зоне горения до значения, меньшего, чем нижний концентрационный предел взрываемости этого газа, и концентрацию воздуха до значения, меньшего, чем кислородный индекс горения данной жидкости, применимо лишь в помещениях. На открытых пространствах создать необходимую концентрацию инертного газа невозможно.

При использовании изолирующих огнетушащих средств возникают проблемы с подачей их на большие расстояния и с обеспечением плотного, без разрывов, поверхностного слоя огнегасящего

вещества. Перспективными при этом выглядят системы гелевых слоев на основе жидкого натриевого стекла и солей одновалентных металлов, способных к вспучиванию. В качестве легких носителей, которые обеспечивают плавучесть пленки на поверхности горючей жидкости, используются специально разработанные керамзит и пеностекло [14-16].

В последнее время наиболее эффективными и наиболее перспективными средствами тушения пожаров признаны ингибирующие средства. Основное их преимущество – небольшое количество средства, необходимого для подавления огня. По такому физико-химическому механизму горение ликвидируют хладоны (фреоны) и огнетушащие порошковые композиции.

Но применение хладонов, которые представляют собою галогеносодержащие производные низших углеводов, имеет серьезные недостатки. Во-первых, как и в случае с инертными газами, создать на открытом пространстве нужную концентрацию газообразного хладона невозможно. Во-вторых, хладоны токсичны сами по себе, а при пожаре образуют токсичные продукты горения и пиролиза. Наконец, в последние годы хладоны признаны ответственными за снижение количества озона в верхних слоях атмосферы и за образование там «озоновых дыр» [17-20].

В конце 80-х годов прошлого столетия представители большинства развитых стран Монреальским протоколом рекомендовали запретить производство и применение таких соединений. Замена их новыми пленкообразующими галогеносодержащими соединениями полностью проблему не решает. При пожаре эти соединения частично разлагаются, выделяя в воздух такие же вещества, которые разрушают озоновый слой. Кроме того, оставаясь после пожара, они отравляют поверхностные слои Земли [17]. Такие же недостатки присущи комбинированным средствам тушения пожаров, в которых используются хладоны, например, порошкам типа СИ, т.е. силикагелю, пропитанному хладонами [21], и подобным.

На практике для тушения пожаров горючих жидкостей в основном используются изоляционные средства тушения, в первую очередь, воздушно-механические пены. Пена, в зависимости от стойкости, остается на поверхности участка, на который ее подали, достаточно долгое время. За это время новые ее порции можно подать на соседние участки, и так постепенно «отвоевать» у пожара участок за участком. Основных недостатков тут четыре. Во-первых, пену, ввиду ее легкости, невозможно подать насосами на более-менее значительное расстояние. Во-вторых, оборудование для тушения пеной – достаточно сложное, громоздкое и дорогое. В-третьих, сама пена тоже дорога, а расходуется она при тушении пожаров сотнями литров. Наконец, пена содержит пенообразователи, в большинстве случаев – синтетические. Эти вещества вредны и для персонала, который с ними работает, и для окружающей среды. Кроме всего прочего, они образуют эмульсию нефти в морской воде, что

в дальнейшем существенно снижает эффективность сепарации. После тушения пеной пожаров с горением жидкостей, разлитых на поверхности водоема (моря, океана), в воду попадают значительные количества пенообразователя, что изменяет поверхностное натяжение воды и губительно действует на все без исключения живые существа.

Намного меньший вред могло бы принести тушение таких пожаров порошковыми средствами. Огнетушащие порошковые средства состоят из соли, которая обладает огнетушащими свойствами, и добавок других солей [22,23].

Эти средства считаются наиболее эффективными для тушения пожаров классов А, Д и Е. По сравнению с водой, пеной и инертными газами эффект достигается при значительно меньших концентрациях. При хранении же и транспортировке они требуют более простого оборудования и меньшей заботы, чем все иные. Как и хладоны, порошки действуют по механизму ингибирования процесса горения, т.е. реагируют с активными частицами горения, выводя их из процесса. Активных частиц в зоне горения образуется немного, но они чрезвычайно активны, настолько, что могут существовать не более, чем 10^{-8} – 10^{-9} секунды. А дальше обязательно превращаются в стабильные молекулы, отрывая часть другой молекулы и преобразуя ту на опять-таки активную частицу. Используя ингибиторы, большую часть из таких новых частиц можно превратить в менее активные, что значительно снижает скорость реакции горения, аж до полной ее остановки. Ингибитора, который охотится за активными частицами, как и самих этих частиц, нужно немного, обычно достаточно 2-3 % (объемных) от зоны горения.

Ни одна соль комплексом необходимых огнетушащих и эксплуатационных свойств одновременно не обладает. Например, бромиды металлов, аммоний фосфат и некоторые другие – хорошо гасят пламя, но гигроскопичны и склонны к слеживанию. Другие, такие как фториды металлов, аммоний сульфат и многие другие – не способны эффективно гасить пламя, но во время хранения длительное время остаются сыпучими. Огнетушащая же порошковая композиция должна хорошо гасить пламя, долгие годы не изменять своих свойств в процессе хранения и быть всегда готовой к немедленному применению. Поэтому огнегасящие порошковые смеси чаще всего содержат не одну соль, а больше. Обычно порошковые средства тушения пожаров состоят из огнетушащей соли и солей-добавок, которые повышают гидрофобность смеси, увеличивая стойкость к слеживанию и комкованию во время хранения [22,23].

Главный компонент огнетушащих композиций на основе огнетушащих порошков – соль металла, по большей части натрий карбонат и натрий бикарбонат, калий фосфат, калий хлорид, квасцы, кремний оксид, аммоний фосфат и т.п. В странах бывшего СССР наиболее распространены композиции на основе натрий бикарбоната и аммоний фосфата.

Все эти соли (калия, натрия и аммония хлориды, фосфаты и карбонаты), в сельском хозяйстве

используются как минеральные удобрения. В результате, в отличие от пены и хладонов, огнетушащие порошки практически не наносят вреда окружающей среде. Разве что, попадание в воду водоемов излишних количеств таких солей вызывает бурный рост водорослей, усиленное потребление ими кислорода и некоторое угнетение фауны этих водоемов.

Недостаток порошковых средств тушения – возможность после погашения, в случае недостаточного плотного покрытия всей площади горения, повторного воспламенения. Еще один недостаток этих огнетушащих веществ – сложность определения оптимальных размеров частичек порошкового вещества. Они должны объединять в себе эффективность при тушении пожара и технологичность при изготовлении средства. С одной стороны, чем меньшие размеры имеют эти частички, тем больше их суммарная поверхность и тем эффективнее огнетушащая способность. Но, с другой стороны, слишком мелкие частички порошка выносятся из зоны горения конвекционными потоками продуктов сгорания, и, таким образом, не обеспечивают в полном объеме ингибирование горения. Кроме того, при изготовлении очень мелкого порошка возникают технологические трудности. Одной из основных операций изготовления является операция высушивания, которая чаще всего проводится в потоке горячего воздуха. И, чем мельче порошок, тем труднее его от этого воздуха отделить: он способен проскакивать и сквозь тканевые фильтры и сквозь циклоны.

Проблема возникает и при применении порошков для тушения пожаров горючих жидкостей, особенно при разливе последних на поверхности водоемов. В отличие от пены, огнетушащий порошок способен гасить пламя лишь при одновременном действии на всю площадь пожара, на весь объем зоны горения. А тушение порошками горения жидкостей, разлитых на большой площади вообще невозможно. При горении разлитых жидкостей, в том числе разлитых на поверхности водоемов, зона горения находится над поверхностью этой жидкости. Следовательно, чтобы потушить такой пожар, нужно одновременно покрыть порошком всю поверхность. Либо огнетушащее средство должно действовать на отдельном участке время, достаточное для ликвидации пламени на соседних участках, исключая повторное воспламенение уже погашенных участков от пламени участков по соседству. Именно это и представляет собой проблему. Любой огнетушащий порошок представляет собой смесь солей. А все соли имеют удельную плотность, большую плотности воды, и, тем более, плотности углеводородов.

При распылении порошка над поверхностью, которая горит, мелкие фракции выносятся конвективными потоками и покидают зону горения; а более крупные, «прорвавшись» сквозь эти потоки, действуют лишь доли секунды. Затем они уходят под поверхность, тоже покидая зону, в которой пары горючей жидкости перемешаны с воздухом.

Оставленная без защиты эта смесь сразу поджигается пламенем от соседних участков. Для реализации возможности применения здесь огнетушащего порошка необходимо обеспечить его присутствие в зоне горения (на поверхности горящей жидкости), не доли секунды, а время, достаточное для нанесения порошка на соседние участки.

Известно огнетушащее средство для тушения горения нефти и нефтепродуктов, которое состоит из пористого носителя диаметром 10-50 мм (насыпная масса которого меньше плотности нефти и нефтепродуктов), обработанного с поверхности смесью активного гасящего агента и жидкого стекла [24].

Недостаток этого средства заключается в низкой эффективности пожаротушения, обусловленной тем, что для обеспечения низкой слеживаемости средства при хранении используют специальные добавки, что уменьшает количество гасящего агента на поверхности пористого носителя. Кроме того, большой объем внутренних слоев вообще не используется.

Исследования по разработке средств на основе огнетушащих солей, иммобилизованных в поры высокопористого носителя. В Черкасском институте пожарной безопасности им. Героев Чернобыля проводятся исследования, направленные на создание принципиально нового огнетушащего средства. Это средство действует по физико-химическому механизму ингибирования горения; имеет низкую насыпную массу, что позволяет ему достаточно долго находиться на поверхности водоема, т.е. в зоне горения; базируется на веществах, безвредных для окружающей среды, и недорого в изготовлении.

Предложенный подход – определенного размера частицы высокопористого носителя с иммобилизованной тонким слоем на внутренней поверхности пор огнетушащей солью.

Проведенные ранее испытания на модельном 20%-ном водном растворе поваренной соли [25, 26] показали, что для практических целей пригоден не каждый пористый носитель. Так, медицинский активированный уголь при контакте с водными растворами полностью распался. Макропористый сополимер стирола с дивинилбензолом (марок 4/80 и 12/80) соли из водных растворов не адсорбировал. Не лучшие результаты показал и макропористый катионит КУ-23 (марок 10/60 и 12/80). Наибольшую адсорбционную способность (по NaCl) показали активированный уголь из противогаса и вермикулит фракций 1,2,3,4,8 производства ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Укрвермікуліт». Последний для целей создания нового огнетушащего средства оказался наиболее пригодным, так как он негорюч и имеет достаточную механическую прочность.

Средства с минеральным носителем. Удельная внутренняя поверхность вспученного вермикулита (50-100 м²/г) позволяет иммобилизацию в его капиллярах достаточного количества огнетушащей соли без потери «плавучести» в воде. Частицы имеют достаточно большие размеры (от 0,5 мм до 5

мм) и выпускаются предприятиями вспученных материалов рассеянными по фракциям, что позволяет варьировать размеры частиц готового огнетушащего средства. Это дает возможность подобрать частицы так, чтобы они имели достаточно малые размеры для покрытия предельно большей поверхности и, в то же время, - достаточно большие, чтобы не выноситься из зоны горения конвективными потоками.

Технология изготовления средства заключается в замещении воздуха в порах носителя раствором огнетушащей соли с последующим удалением воды высушиванием. Так как капилляры носителя очень узки, поверхностное натяжение воды и ее растворов на границе жидкость-воздух не позволяет просто так заполнить эти капилляры. Поэтому применяется вакуумная техника. Носитель помещается под сеткой с размером ячейки, меньшим размера частиц, и заливается раствором огнетушащей соли в воде так, чтобы раствор полностью покрыл все частицы. Затем подключается вакуум, который вытягивает из капилляров воздух. После соединения пространства над сеткой с атмосферой атмосферное давление загоняет раствор в освобожденные от воздуха капилляры. Последующее высушивание позволяет получать легкие частицы (с насыпной массой около $0,5-0,6 \text{ г/см}^3$), заполненные адсорбированной в капиллярах огнетушащей солью. Понятно, что, по сравнению с технологией изготовления традиционных порошковых композиций, применение вакуумной техники усложняет процесс. Но, с другой стороны, сушить приходится уже довольно крупные частицы, которые легко задерживаются любыми фильтрами.

При выполнении работы были отобраны фракции вермикулита, которые показали наилучшие результаты по адсорбции солей. В качестве огнетушащего компонента использовали аммоний- и диаммонийфосфат).

Сорбция проводилась из растворов, близких к насыщенным (немного меньшей концентрации), чтобы предупредить возможную закупорку пор твердыми частицами, которые могли бы выпасть из концентрированных растворов при незначительном испарении воды или при незначительном снижении температуры).

В лабораторных условиях предварительно образцы носителя высушивались в сушильном шкафу при температуре $90-100 \text{ }^\circ\text{C}$ до постоянной массы, и пористый носитель помещался в сетчатую тару (капроновые, нейлоновые или подобные мешочки). Тара с носителем помещалась в кристаллизатор с раствором огнетушащей соли, где накрывалась перевернутой воронкой Бюхнера, которая не давала образцам всплыть на поверхность. Кристаллизатор ставился в вакуумный эксикатор и подключался вакуумный насос [27, 28]. Воздух из эксикатора откачивался до остаточного давления в $10-15 \text{ мм рт. ст.}$ При этом из внутреннего объема пор вермикулита удаляется воздух, который проходит сквозь слой раствора. Выдержав вермикулит в растворе под вакуумом $20-30$ минут, эксикатор от вакуума отключали и впускали воздух. Под действием внешнего давления в

поры загонялся солевой раствор и соли оседали на внутренней поверхности частиц вермикулита. Операция повторялась два-три раза. Тара с вермикулитом вынималась и обмывалась обессоленной водой.

Обмывание преследовало две цели.

Во-первых, сухая и освобожденная от водорастворимых солей поверхность не склонна к слеживаемости, поскольку вермикулит в воде нерастворим, и воду, в отличие от порошковых средств, не притягивает. Следовательно, отпадает необходимость применения специальных добавок.

Во-вторых, облегчается высушивание, которое в этом случае, учитывая достаточно крупные размеры частиц, можно проводить в потоке нагретого воздуха и потом легко отделять от этого воздуха.

В лабораторных условиях образцы высушивали $2-3$ часа в сушильном шкафу при температуре $90-95 \text{ }^\circ\text{C}$ и, далее, не охлаждая, досушивали в вакуумном эксикаторе при остаточном давлении в $1-2 \text{ мм рт. ст.}$

Прирост массы позволял оценить количество огнетушащей соли, адсорбированной в порах носителя.

Первичные испытания проводились на модельной установке, которая представляла собой металлическую емкость с диаметром 250 мм и высотой бортиков 40 мм . В емкость наливался слой воды толщиной 10 мм и, поверх него, слой бензина А-80 такой же толщиной (625 мл воды и 625 мл бензина). Применялись две методики.

По первой из них, определенное количество средства наносилось на поверхность слоя бензина и через $1-2$ минуты топливо поджигалось. Измерялось время существования пламени и толщина слоя топлива, оставшегося несгоревшим. По второй – слой топлива сначала поджигался, после чего на поверхность при помощи ковшика с длинной ручкой наносилось определенное количество средства. Далее измерялись время прекращения горения и остаток топлива.

Как установлено, соотношение компонентов средства мало влияет на эксплуатационные характеристики средства, в частности на минимальное количество средства, необходимое для прекращения горения. Оптимальное содержание адсорбированной соли составляет $18,3-68,2\%$. При таком содержании средство имеет эффективную огнетушащую способность и обеспечивает низкую слеживаемость при хранении. Большая концентрация адсорбированной соли приводит к появлению слеживаемости, вследствие постепенного «выпотевания» соли на внешнюю поверхность вермикулита. Изготовление средства с меньшим содержанием огнетушащей соли нецелесообразно ввиду снижения огнетушащей активности.

Насыпная масса вспученного вермикулита не превышает $0,10-0,12 \text{ г/см}^3$. С учетом сорбции до 50% огнетушащей соли насыпная масса увеличивается, но, все равно, не превышает $0,6-0,7 \text{ г/см}^3$. Это ниже удельной плотности горючих жидкостей и, тем более, удельной плотности воды. Следовательно, при нанесении на поверхность пролитой жидкости огнетушащее средство все время будет

находиться именно на поверхности, т.е. в зоне горения, отдавая под действием высокой температуры в эту зону огнетушащие компоненты путем десорбции.

После подавления пожара сбор и высыпание в подходящем месте достаточно крупных частиц трудностей не вызовет. Окружающей среде эта процедура не повредит, поскольку вспученный вермикулит широко используется для структурирования грунтов, а огнетушащие соли (тот же аммоний фосфат и др.) фактически являются минеральными удобрениями.

Некоторым недостатком этого огнетушащего средства является использование и хранение в капиллярах уже готовых огнетушащих солей. Как и в обычных огнетушащих порошках, при хранении поверхность до некоторой степени забивается газами и пылью, что снижает активность огнетушащего средства. Кроме того, при внесении средства в зону горения, минеральный носитель начинает десорбцию огнетушащего компонента лишь после прогрева, т.е. не сразу после введения, а через несколько секунд (больше 10) после его введения.

Для устранения этих недостатков разрабатываются средства по типу генераторов огнетушащего аэрозоля [29].

В различных конструкциях таких генераторов используются смеси горючего вещества (обычно полистирола) и окислителя (нитрата калия, бертолетовой соли и др.), которые размещаются в специальном устройстве, в котором происходит генерация аэрозоля, предназначенного для тушения пожаров. Реакция между компонентами инициируется либо при искусственном поджигании, либо за счет тепла пожара. За счет реакции образуются углекислый газ и вода, которые снижают в зоне горения концентрацию горючих паров (газов) и концентрацию кислорода, уменьшая таким способом скорость горения. А, главное, из окислителя образуются микронные частицы калий карбоната, калий бикарбоната или калий хлорида, которые подавляют огонь по механизму ингибирования. Микронные размеры таких частиц обеспечивают большую суммарную поверхность их контакта с горючей смесью, а образование частиц непосредственно в зоне горения способствует эффекту «свежей поверхности».

Подобные генераторы устраняют противоречие между необходимостью обеспечить развитую и «свежую» поверхность средства, и трудностями при изготовлении и хранении мелкодисперсного порошка. Недостаток большинства сконструированных генераторов – сложность конструкции устройства и, соответственно, его цена. Для тушения же пожаров горючих жидкостей на поверхности водоема, такие генераторы вообще непригодны, так как они сразу уходят под поверхность.

Для создания генератора огнетушащего аэрозоля, пригодного для тушения пожаров с горением жидкостей на поверхности водоемов, использовались высокопористый вспученный вермикулит в качестве носителя и смесь калий нитрата с поливиниловым спиртом в качестве иммобилизата [30].

Элементарное звено поливинилового спирта имеет формулу $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-$, или $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$. В соответствии уравнением химической реакции для стехиометрического окисления поливинилового спирта



44 2×101

на 44 г поливинилового спирта необходимо 202 г калий нитрата, или на 1 г поливинилового спирта – 4,5 г калий нитрата.

Массовое соотношение компонентов, вермикулит: поливиниловый спирт: калий нитрат– 1: 0,09-0,12: 0,40-0,54.

В качестве носителя использовался вспученный вермикулит фракций 0,5-5 мм с удельной поверхностью 50-100 м²/г. Плотность минеральной части этого материала - 2,50 г/см³, реальная насыпная масса вспученного вермикулита – 0,065 г/см³. Следовательно, каждый 1 мл частиц содержит 0,065 г вещества с плотностью 2,50 г/см³, или 0,026 мл его. Остальные 0,974 мл – пустоты, заполненные воздухом и пригодные для заполнения смесью. Плотность поливинилового спирта - 1,25 г/см³, плотность калий нитрата - 2,11 г/см³. Смесью 1 г поливинилового спирта з 4,5 г калий нитрата имеет плотность 1,7 г/см³. Учитывая, что 1 мл вспученного вермикулита уже содержит 0,065 г вещества, для сохранения плавучести можно адсорбировать не больше 0,9 г смеси, или 0,5 мл ее.

Нитрат калия растворялся в воде до образования насыщенного раствора. Поливиниловый спирт растворялся в воде при температуре 90 °С (как известно, в холодной воде этот спирт не растворяется, но после растворения в горячей и последующего охлаждения из раствора не выпадает). После остывания оба раствора соединялись в нужном соотношении. Вспученный вермикулит в сетчатой таре погружался в полученный раствор и система вакуумировалась 20-30 минут при остаточном давлении 5-10 мм рт. ст. Разгерметизация позволяет под действием атмосферного давления заполнить раствором освобожденные от воздуха поры. Тара со вспученным вермикулитом вынималась, обмывалась снаружи обессоленной водой и сушилась при температуре 50-60 °С несколько часов, после чего досушивалась в вакууме при остаточном давлении 0,5-1 мм рт. ст. еще 2-3 часа.

При попадании в зону горения нагрев инициирует реакцию между калий нитратом и поливиниловым спиртом уже через 5-10 секунд после введения средства в эту зону.

Способность средства оставаться на поверхности определялась в измерительных цилиндрах с водой, где образцы два-три раза в сутки перемешивались. А способность тушить пламя в металлической емкости с диаметром 250 мм и высотой бортиков 40 мм (см. выше).

Как установлено, оптимальное содержание поливинилового спирта составляет 0,09-0,12 г/г вспученного вермикулита, а окислителя – 0,40 - 0,54 г/г вспученного вермикулита. Оптимальный расход генератора огнетушащего аэрозоля – не менее 0,5- 0,6 кг/м².

Генератор огнетушащего аэрозоля, изготовленный таким способом, инициирует реакцию между поливиниловым спиртом и калий нитратом только в зоне пожара за счет его тепла.

При хранении же и при высушивании с температурой не выше 50-60 °С он безопасен.

Средства со стружкой древесины. Недостаток средств на основе минерального носителя связан с необходимостью использования при их изготовлении вакуумной техники, что увеличивает себестоимость. Кроме того, при тушении пожара десорбция и выход огнетушащего компонента из пор требуют определенного времени, необходимого для прогрева стенок вермикулита, который обладает термоизоляционными свойствами. Последнее увеличивает время тушения и снижает полноту использования средства.

С этой точки зрения более привлекательной выглядит стружка древесины. В отличие от минерального носителя, стенки капилляров древесины эластичны. Значит, при иммобилизации стружки растворами достаточно просто несколько раз сжать и отпустить ее в этом растворе [31, 32].

В лабораторных условиях подобное делалось просто руками в резиновых перчатках [31]. Для полупромышленного производства предложено использование держателя с металлической сеткой [33].

Как и в случае с вермикулитом, после обмывания образцы высушивались 2-3 часа в сушильном шкафу при температуре 90-95 °С и дальше для ускорения высушивания, - не охлаждая, в вакуумном эксикаторе при остаточном давлении в 1-2 мм рт. ст. В полупромышленных условиях достаточно высушивания в потоке теплого воздуха.

Первичные испытания полученных образцов тоже проводились по методикам, описанным для образцов с вермикулитом.

Как установлено, из пород древесины лучше всего подходят ольха и сосна, а оптимальное соотношение стружки и огнетушащей соли, которое обеспечивает плавучесть средства и эффективность его действия, лежит в пределах 1:0,42 - 1:0,63.

На основании результатов лабораторных исследований разработана технологическая схема полупромышленного производства (пилотной установки) [33]. Проведенные технико-экономические расчеты [33] показали, что при производительности 300 кг огнетушащего средства за смену (за сутки) полная стоимость одного килограмма нового огнетушащего средства будет составлять: в случае аммоний фосфата 12,97 грн, в случае диаммоний фосфата 7,35 грн.

По данным НПФ «Фактор», стоимость наиболее распространенного в Украине огнетушащего порошка на основе аммонийных солей фосфатной кислоты *П-2АПМ* составляет € 15 - 18 грн за 1 кг.

При этом нужно учесть, что при большой площади горения жидкости порошком *П-2АПМ*, как и другими порошковыми смесями, погасить пожар невозможно, так как они сразу тонут.

Иммобилизованная же огнетушащей солью стружка постоянно остается в зоне горения, она не

горит, так как горению препятствует ингибирование солью. Но поверхностные слои древесины быстро пиролизуются до газов, освобождая все новые и новые порции огнетушащих солей.

Недостаток применения здесь пористой древесины - относительно недолгая плавучесть, поскольку за 2-3 часа вода заполняет открытые поры и средство уходит под поверхность, покидая зону горения. Кроме того, при хранении этого средства огнетушащая соль «выпотевает» из пор на внешнюю поверхность и притягивает влагу, что приводит к слеживанию средства, комкованию его и потере способности распределяться по поверхности нужным слоем.

Усовершенствование было найдено в «запечатывании» пропитанных пор пленкой поливинилового спирта [34, 35].

Поливиниловый спирт растворяется в горячей воде и не растворяется в холодной. Поэтому, закрыв при температуре 80-90 °С частицы пропитанной стружки с поверхности раствором этого спирта нужной концентрации и слив излишек горячего раствора, удастся до определенной степени загерметизировать поры.

Но поливиниловый спирт все-таки имеет гидрофильность, особенно при повышенных температурах. В результате, действия средства хватает на 10-12 часов, после чего он все равно тонет. Между тем, при выливе из поврежденных танкеров пожары на воде продолжают неделями, причем горячая жидкость выливается из проломов и растекается, захватывая все новые площади. Для предупреждения такого растекания место аварии окружают бонами, но бонны полностью ликвидировать растекание и горение не способны. Существующие же огнетушащие средства имеют недостаточное время действия.

Дальнейшие исследования были направлены на создание средства, которое способно плавать на поверхности практически неограниченное время, до полного использования огнетушащей соли. С этой целью раствор поливинилового спирта в горячей воде было заменен раствором парафина в петролейном эфире или в этиловом спирте [36, 37]. Испытания показали, что такое средство способно плавать на поверхности воды практически неограниченное время, до полного пиролиза парафина и древесины и до полного освобождения огнетушащей соли. Это позволяет использовать разработанное средство для ограничения зоны разлива и горения вместо бонов или вместе с ними.

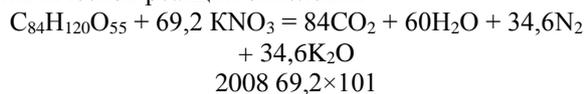
Як показано выше, наибольшую эффективность имеют генераторы огнетушащего аэрозоля. Поэтому дальнейшие усовершенствования были направлены на создание на основе древесных стружек именно таких генераторов. При этом стружка должна играть роль и пористого носителя и восстановителя. В качестве же окислителя использовался калий нитрат [38].

В зависимости от породы дерева и климатических условий его произрастания, пористость древесины меняется, но не в очень широких пределах.

Так, для сосны и ольхи пористость сухой древесины составляет 65-75%, т.е. каждый 1 см³ древесины содержит лишь 25-35% собственно древесины. Плотность материала, из которого состоит древесина, для всех пород и для всех условий произрастания практически одинакова и составляет 1,54 г/см³. Следовательно, каждый 1 см³ реальной стружки содержит 0,25-0,35 г материала с плотностью 1,54 г/см³. Остальное – воздух, плотностью которого в данном случае можно пренебречь. Таким образом, реальная плотность древесины составляет $1,54 \times (0,25-0,35) = 0,38-0,54$ г/см³, что позволяет сухой древесине оставаться на поверхности воды.

Понятно, что адсорбция порами древесины солей, в частности калий нитрата с плотностью 2,10 г/см³ увеличивает реальную плотность и поэтому соотношение между древесиной и окислителем подбиралось таким образом, чтобы реальная плотность средства не превышала плотность воды.

Элементный состав древесины всех пород приблизительно одинаков. Они содержат около 50% карбона, 6% водорода и 44% кислорода, что отвечает гипотетической химической формуле C₈₄H₁₂₀O₅₅. В соответствии со стехиометрическим уравнением химической реакции окисления



2008 69,2×101

на 2008 г древесины необходимо 6989 г калий нитрата, или на 1 г древесины – 3,5 г калий нитрата. Такое количество тяжелой соли ввести в поры древесины практически невозможно. К тому же, это привело бы к значительному увеличению реальной плотности и утрате плавучести иммобилизованной древесины. Поэтому часть стружки древесины избыточна, она не вступает в реакцию и остается неповрежденной. Но древесина – абсолютно экологически чистый материал и окружающую среду не загрязняет. Образующиеся во время реакции в зоне пожара микронные частицы K₂O и углекислый газ мгновенно реагируют между собой и образуют аэрозольное облако, которое и тушит пожар на поверхности водоема. Концентрация калий карбоната, образующегося в процессе реакции, окружающей среде не вредит.

Содержание калий нитрата больше 0,15 г на 1 г древесины при расходе, большем 0,5 кг/м² огнетушащего средства, позволяет предупредить возгорание, или потушить пламя за считанные секунды.

Применение такого средства дает возможность влиять на пламя именно на поверхности, где и размещается зона горения. В то же время, разрабатываемое средство не требует искусственного инициирования его действия, так как отсутствие внешних конструктивных элементов способствует поджиганию его сразу после введения в раскаленную зону.

Не представляет трудностей и изготовление средства. Стружка древесины простым сжатием-отпуском пропитывается концентрированными водными растворами окислителя и подсушивается при температуре 50-60 °C (большая температура не

рекомендуется по причине опасности инициирования реакции окисления еще при высушивании). Операция повторяется 3-4 раза. В результате образуется стружка с реальной плотностью 0,8-0,9 г/см³, которая содержит 0,15-0,19 г калий нитрата на 1 г древесины. Т.е. соотношение компонентов (масс.%) составляет: 80-88 древесины и 12-20 калий нитрата.

Вывод. Рассмотрены возможные средства тушения пожаров горючих жидкостей, разлитых на больших площадях, в частности на поверхности водоемов. Показано, что на сегодняшний день существующие средства недостаточно эффективны и экологически вредны. Приведены результаты разработок серии новых огнетушащих средств, предназначенных для тушения таких пожаров. Средства представляют собой высокопористые носители с размерами частиц от 1 до 5 мм, внутренние стенки капилляров в которых иммобилизованы огнетушащими компонентами. При тушении пожара на поверхности водоема такие средства все время находятся в зоне горения, выделяют огнетушащие соли. Средства экологически безвредны, недороги и несложны в изготовлении.

Список литературы

1. Alekseev A.G., Jelagin G.I., Kutsenko M.A., Alekseeva E.S., Nakonetchiy V.V. Ecological consequences of fires on the surface of water bodies and ways to reduce their negative impact. "Emergencies: Prevention and Elimination." Collection of scientific works of the Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine // *Ekologitchni naslidki poszesz na poverhni vodojim ta sposobi znisennja jih vplivu. «Nadzvitcajni situacii: poperedszennja ta likvidatecija» Zbirnik naukovih prac Tserkaskogo institutu poszesznoji bezpeki imeni Geroviv Tcornobikja Natscionalnogo universitetu Tscivilnogo zhistu Ukrajini*, 2019, tom 3, № 1, pp 42-50 [in Ukrainian].
2. Behavior of offshore oil spills // *Povedenie morskikh razlivov nefti* Retrieved from https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_2_2011_RU_FINAL.pdf [in Russian]
3. The effects of oil pollution on the environment // *Posledstviya zagryazneniya nefti dlya okruzaucshey sredi*. Retrieved from https://www.ospri.online/site/assets/files/1153/tip13_ru_effectsofoilpollutionintheenvironment.pdf [in Russian]
4. What to do with oil spills, (05 June 2020). // *Tcto delat s razlivami nefti*, 05 Iyun 2020. Retrieved from <https://nplus1.ru/material/2020/06/05/what-to-do-with-oil-spill> [in Russian].
5. Iranian tanker explodes in Red Sea due to rocket fire (10.01.2019) // *V Krasnom more vzorvalsia yranskiy tanker vsledstvye raketnoho obstrela*. Retrieved from: <https://tsn.ua/ru/video/video-novini/v-krasnom-more-vzorvalsia-iranskiy-tanker-vsledstvie-raketnoho-obstrela.html> [in Russian].

6. The Gulf of America tanker exploded. (11.02.19) // Vzorvalsia tanker "Zalyv Ameryka". Retrieved from: <https://tsn.ua/ru/svit/v-rossii-vzorvalsia-neftyanyo-tanker-est-pogibshie-1436772.html> [in Russian].
7. A source reported an explosion on an oil tanker in the Kerch Strait (October 24, 2020) // Istotchnik soobscil o vzrive na tankere s neftyu v Kercenskom prolive. Retrieved from: <https://www.interfax.ru/russia/734044> [in Russian].
8. Russian oil tanker explodes and sinks in Sea of Azov (October 24, 2020) // V Azovskom more vzorvalsia i tonet rossiyskiy neftyanyo tanker. Retrieved from: <https://www.finanz.ru/novosti/aktsii/v-azovskom-more-vzorvalsia-i-tonet-rossiyskiy-neftyanyo-tanker-1029716704> [in Russian].
9. Oil tanker "Semyon Dezhnev" exploded - MK (2021) // Vzorvalsia neftyanyo tanker "Semen Dezhnev" – MK. Retrieved from: <https://www.mk.ru/incident/2021/10/07/vzorvalsia-neftyanyo-tanker-semen-dezhnev.html> [in Russian].
10. Oil tanker exploded in Saudi Arabia - UNN. (December 15, 2020) // V Saudovskoy Araviyi vzorvalsia neftyanyo tanker – UNN. Retrieved from: <https://www.unn.com.ua/ru/news/1907882-v-saudivskiy-araviyi-vibukhnuv-naftoviy-tanker> [in Russian].
11. Tanker carrying Iranian oil explodes in Syria. (August 12, 2021) // V Siriyi vzorvalsia tanker, perevozivchiy iranskuyu neft. Retrieved from: <https://oilcapital.ru/news/abroad/12-08-2021/v-sirii-vzorvalsia-tanker-perevozivshiy-iranskuyu-neft> [in Russian].
12. Oil spill disasters: Ways to limit environmental damage. (10.06.2021). Retrieved from: <https://www.dw.com/en/california-oil-spill-disaster-cleanup/a-48095315>.
13. Yelagin G.I., Shkarabura M.G., Krishtal M.A., Tichenko O.M.. Fundamentals of the theory of development and cessation of combustion (Abbreviated course). // Osnovi teorii rozvitku ta pripinennja gorinnja. – Cherkasi 2001 – pp. 447 [in Ukrainian].
14. Kireev A.A., Tcernuha A.A. Selection of gel-forming systems for obtaining swellable fire-retardant coatings. // Podbor geleobrazuyuchih sistem dlja polutcenija vsputcivajuchihhsja ognenezachitnih pokritiy. "Problemi poszarnoy bezopasnosti", Vipusk 24, 2008. [in Russian].
15. Kireev A.A., Saveljev D. I, Gel coatings - effective means of operational fire protection // Geleobraznije pokritija – effektivnije sredstva oprativnoy ognenezachiti. «Poszeszna bezpeka: teorsja i praktika» № 20, 2015, pp. 33. [in Russian].
16. Dadashov I.F, Miheenko L.A., Kireev A.A. Choice of light silicate carrier for gel fire extinguishing layer during fire extinguishing. // Vibor legkogo silikatnogo nositelja ognnetuschachego sloja pri poszarotucheniji. KERAMIKA: nauka i szizn Tehnologiji, Baku, 2016, pp. 44-51. [in Russian].
17. Nicolson P.C., Artman D.D. A technique for the evaluation of AFFF sealing characteristics // «Fire Technology», 1977, 13, №1, pp. 13-20.
18. Klunik C.H. Has. AFFF agent come of age // Hydrocarbon Process, 1977, V56, N 9, pp. 293-300 134/3-1.
19. Ozone-depleting freon builds up in the air again // V vozduche snova nakaplivaetsya povrezdayuschiy ozonoviy sloj Freon. Retrieved from: <https://naked-science.ru/article/sci/v-vozduhe-snova-nakaplivaetsya> [in Russian]
20. An unexpected and persistent increase in global emissions of ozone-depleting CFC-11. Nature volume 557, pp. 413–417 (2018). Retrieved from: <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0106-2>.
21. Baratov A.N. etal. Ognetchachiy porochok СИ-2. // Fire extinguishing powder SI-2. Avtorskoye svidetel'stvo. 232 761 (USSR). // Otkritija. Izobrenenija. 1969. - № 1. [in Russian]
22. Patent no. 2216371 RF. class A62D1/00. Fire extinguishing powder composition and method for its production // Ognetchachiy porochkoviy sostav i sposob jego polutcenija. [in Russian]
23. Patent no. 2170601 RF. class A62D1/00. Method for preparing a means for extinguishing a fire and sorbing petroleum products // Sposob prigotovleniya sredstva dlya tucheniya poszara i sorbirovaniya nefteproduktov. [in Russian]
24. Patent no. 2263525 RF. class A62D1/00. Fire extinguishing agent for extinguishing oil and oil products // Ognetchascheje sredstvo dlya tucheniya nefti i nefteproduktov. [in Russian]
25. Androcthuk O.V., Gikavcthuk R.V., Jelagin G.I., Tcherbina V.S. (2011) Pre-treatment of sorption properties of granular porous noses. Materials of the international scientific-practical conference "Theory and practice of liquidation of supervising situations" // Doslidszennja sorbtciynoji zdatnosti dranuljovanih poristih nosijiv. Materiali misznarodnoji naukovo-praktitchnoji konferenciji «Teorija ta praktika likvidaciji nadzvitchajnih situatcij», Cherkasy, pp. 181-182 [in Ukrainian].
26. Jelagin G.I., Palagin R.A., Krichtal M.A., Kladko D.A. Pre-adsorption of fire-extinguishing salts by the inner surface of the compacted vermiculite (2013) // Doslidszennja adsorbtcijoi vognegasnih soley vnutrichnjoju poverhnju sputchenogo vermikulitu. Materiali V naukovo-praktitchnoji konferenciji «Teorija i praktika gasinnja poszesz ta likvidaciji nadzvitchajnih situatcij», Cherkasy, 2013, p. 55-56 [in Ukrainian].
27. Jelagin G.I., Krichtal M.A., Palagin R.A. Fire extinguisher // Vognegasnij zasib. Patent of Ukraine for utility model 91400 (2014) [in Ukrainian].
28. Jelagin G.I., Krichtal M.A., Palagin R.A. Method of producing fire extinguishing agent // Sposib virobnitstva vognegasnogo zasobu. Patent of Ukraine for utility model no. 91399 (2014) [in Ukrainian].
29. Patent for invention RF no. 2471522 (2013), class A62C13/22 [in Russian].
30. Jelagin G.I., Titshenko Je.O., Alekseeva E.S., Nakonetchniy V.V., Alekseev A.G. A method of manufacturing a fire extinguishing aerosol generator // Sposib virobnitstva vognegasnogo zasobu. Patent of Ukraine for utility model 147257 (2021) [in Ukrainian].

31. Jelagin G.I., Jutshuk I.O., Titshenko Je.O., Alekseeva E.S. A method of manufacturing a fire extinguisher // Sposib virobniststva vognegasnogo zasobu. Patent of Ukraine for utility model no. 136531 (2019) [in Ukrainian].

32. Jelagin G.I., Jutshuk I.O., Titshenko Je. O., Alekseeva E.S. Fire extinguisher // Vognegasniy zasib. Patent of Ukraine for utility model no. 136533 (2019) [in Ukrainian].

33. Kutsenko M.A., Jelagin G.I., Alekseeva E.S., Jutshuk I.O., Nakonetchniy V. V., Zajika P.I. Feasibility study of the organization of production of fire extinguishing agents for combustible liquids based on fire-extinguishing salts immobilized with a porous carrier // Tehniko-ekonomitcne obgruntuvannja organizatsiji vigotovlennja zasobiv dlja gasinnja poszesz gorjutcih ridin na osnovi vognegasnih soley, immobilizovanih poristim nosiem. «Nadzvitchajni situatciji: poperedszennja ta likvidatciji» Zbirnik naukovih prats Tcherkaskogo institutu poszesznoji bezpeki imeni Gerojiv Tchernobilja Natsionalnogo universitetu tsivilnogo zahistu Ukraini. Tom 3, № 1 (2019), pp. 42-50 [in Ukrainian].

34. Jelagin G.I., Nujanzin O.M., Titshenko Je.O., Alekseeva E.S., Nakonetchniy V.V., Alekseev A.G.

Fire extinguisher // Vognegasniy zasib. Patent of Ukraine for utility model no. 141869 (2021) [in Ukrainian].

35. Jelagin G.I., Nujanzin O.M., Titshenko Je.O., Alekseeva E.S., Nakonetchniy V.V., Alekseev A.G. A method of manufacturing a fire extinguisher // Sposib vyhotovlennia vohnehasnoho zasobu. Patent of Ukraine for utility model no. 141870 (2021) [in Ukrainian].

36. Jelagin G.I., Nujanzin O.M., Titshenko Je. O., Alekseeva E.S., Alekseev A.G. Fire extinguisher // Vognegasniy zasib. Patent of Ukraine for utility model no. 144950 (2021) [in Ukrainian].

37. Jelagin G.I., Titshenko Je.O., Alekseeva E.S., Nakonetchniy V.V., Alekseev A.G. Method of manufacturing fire extinguishing agent // Sposib vigotovlenja vognegasnogo zasobu. Patent of Ukraine for utility model no. 14452. (2021) [in Ukrainian].

38. Jelagin G.I., Titshenko Je. O., Alekseeva E.S., Nakonetchniy V. V., Alekseev A.G. A method of manufacturing a fire extinguishing aerosol generator // Sposib vigotovlenja vognegasnogo aerolzolyu. Patent of Ukraine for utility model no. 147259 (2021) [in Ukrainian].

ORGANIZATION OF THE MILITARY EQUIPMENT MAINTENANCE ANALYSIS IN THE ARMIES OF NATO MEMBER COUNTRIES

Baranov A.,

*Candidate of Technical Sciences (Ph.D),
associate professor, Department of Combat (Operational) Support Units Tactics,
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy
Ukraine, Lviv*

Baranov Yu.,

*Candidate of Technical Sciences (Ph.D),
senior instructor, Department of Combat (Operational) Support Units Tactics,
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy
Ukraine, Lviv*

Okipniak D.,

*Candidate of Pedagogical Sciences, associate professor,
head of the Department of Combat (Operational) Support Units Tactics,
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy
Ukraine, Lviv*

Kyrylchuk V.,

*Senior instructor, Department of Combat (Operational) Support Units Tactics,
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy
Ukraine, Lviv*

Kovalchuk S.

*Instructor, Department of Combat (Operational) Support Units Tactics,
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy
Ukraine, Lviv*

DOI: [10.24412/9215-0365-2022-84-1-25-27](https://doi.org/10.24412/9215-0365-2022-84-1-25-27)

Abstract

The development (modernization) and introduction of new samples of military equipment (ME) with improved technical characteristics increases the period of their operation until the next overhaul works (OW). Along with the advantage of increasing the ME uptime to the next type of repair, a number of disadvantages appear, the main of which is increase in the number of failures of the main units and ME systems. The organization of ME maintenance analysis in the armies of NATO member countries allows us to implement the most effective approach to improving the efficiency of ME samples functioning in the Armed Forces of Ukraine.

Keywords: military equipment; maintenance; overhaul works.