

**В. Д. ЗАХМАТОВ**, д-р техн. наук, профессор, профессор научно-организационного отдела, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: zet.pulse@gmail.com)

**С. А. ТУРСЕНЕВ**, канд. техн. наук, начальник отдела планирования, организации и координации научных исследований, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: stursenev@yandex.ru)

**А. В. МИРОНЬЧЕВ**, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры переподготовки и повышения квалификации специалистов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: mironchev@list.ru)

**М. В. ЧЕРНЫШОВ**, д-р техн. наук, профессор кафедры "Плазмо-газодинамика и теплотехника", Балтийский государственный технический университет "ВоенМех" им. Д. Ф. Устинова (Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., 1; e-mail: mvcher@mail.ru)

**А. В. ОЗЕРОВ**, директор фирмы "Зола", Бизнес-центр "Редуктор" (Россия, 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Промышленная, 19, литер. Р, оф. 301)

**А. С. ДОРОЖКИН**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: alex01spb@yandex.ru)

УДК 654.924.5

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРОВЗРЫВОЗАЩИТЫ СУДОВ, КОРАБЛЕЙ, НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ

На основе анализа состояния систем пожарной защиты кораблей, судов показан большой разрыв между скоростью распространения пожаров и перехода их во взрыв, масштабами пожаров на них и возможностями этих систем. Обосновывается необходимость широкого внедрения уникальных многоствольных модулей импульсного мультивихревого распыления различных огнетушащих составов для защиты кораблей, судов, морских нефтепромысловых платформ. Рассматриваются многоствольные модули уникальной конструкции, создающие путем импульсно-заплывного распыления газоводяные шквалы, газопорошковые вихри, способные тушить все возгорания и сплошные пожары сразу по всему пространству отсека или даже участку палубы в течение нескольких секунд. Даётся описание и анализ экспериментов, приводятся рекомендации по применению многоствольных модулей. Обсуждаются варианты их использования на различных плавательных средствах для тушения пожаров, обеспечения эвакуации, предотвращения взрывов паровоздушных смесей, осаждения токсичных облаков, локализации и ликвидации разливов нефти.

**Ключевые слова:** судно; танкер; корабль; многоствольный модуль; импульсное распыление; газоводяной шквал; газопорошковый вихрь; серия залпов; комбинированное тушение; сбивание пламени; осаждение дыма; проникающее напыление капель; обугленная зона; разрушение; охлаждение.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.09.50-63

### Введение

Цель настоящей статьи — показать высокую актуальность и реальные возможности внедрения в практику новых систем пожаровзрывозащиты судов, кораблей, подводных лодок (ПЛ) и морских нефтедобывающих платформ. Для этого в статье решаются следующие задачи: 1) анализ состояния судовых

систем пожаротушения, реальных пожаров на море и их последствий; 2) описание многоствольных модулей (ММ), создающих путем импульсного распыления различных огнетушащих агентов и инертных материалов газожидкостные шквалы, газопорошковые вихри с высокими скоростью и эффективностью тушения по всему пространству отсека, палубы в тече-

© Захматов В. Д., Турсенев С. А., Мироньев А. В., Чернышов М. В., Озеров А. В., Дорожкин А. С., 2018

чение нескольких секунд; 3) описание и анализ экспериментов; 4) рекомендации по применению ММ на различных судах, кораблях, платформах, ПЛ для тушения пожаров, обеспечения эвакуации, предотвращения взрывов, осаждения токсичных облаков и ликвидации разливов нефти.

Для анализа состояния судовых систем пожаротушения рассмотрим некоторые пожары.

Пожар 20.04.2010 г. на морской нефтедобывающей платформе “Deepwater Horizon” (рис. 1) широко известной фирмы “British Petroleum”, ведущей в мире по морской добыче нефти, уже привел мир к глобальной, второй по масштабу после Чернобыля, экологической катастрофе в Мексиканском заливе на долгие десятилетия. В момент взрыва на установке “Deepwater Horizon” погибло 11 чел. и пострадало 17 чел. из 126, находившихся на борту [1]. В конце июня 2010 г. при ликвидации последствий этой катастрофы погибли двое пожарных [2]. Через повреждения труб скважины на глубине 1500 м в Мексиканский залив за 152 дня вылилось около 5 млн. баррелей нефти (833 000 т), нефтяное пятно достигло площади 75000 км<sup>2</sup> [3, 4], что составляет около 5 % площади Мексиканского залива. Основная причина — низкая эффективность тушения, локализации и ликвидации разливов нефти. Стационарные автоматические системы пожаротушения и лафетные гидромониторы на пожарных кораблях не смогли компенсировать технические неполадки, несовершенство конструкции платформы, хотя системы пожаротушения должны проектироваться также с расчетом компенсации технических ошибок на пожаровзрывоопасном объекте [5].

Защита от огня — важнейшая часть комплексной борьбы за живучесть корабля. Наибольший ущерб и гибель людей из-за пожаров на военных кораблях зафиксированы от взрыва топливных баков и корабельного арсенала боеприпасов, на пассажирских, грузопассажирских судах — от взрыва топливных баков и на танкерах — от взрыва паров нефти в емкостях (см. рис. 1).

Пожар на корабле, судне является наиболее опасной аварией и следствием поражения корабля ракетой, снарядом, торпедой, взрывной волной от близкого взрыва. Пожар на палубе, в отсеках, как правило, быстро развивается и разрушает намного больше, чем фугасное воздействие взрывной волны [6]. Нередко пожары на кораблях и судах возникают в результате нарушений техники безопасности и аварий. Так, в 1967 г. из-за неисправности электрооборудования произошел самопроизвольный пуск ракеты “Зуни” на подвеске крыла истребителя на палубе. Ракета не взорвалась, но сбила подвесной топливный бак с крыла другого самолета. Выпавшее из разрушенного бака топливо JP-5 воспламенилось.



**Рис. 1.** Начальная стадия пожара на морской платформе “Deepwater Horizon” 20.04.2010 г. в Мексиканском заливе  
**Fig. 1.** First stadium of fire development at offshore “Deepwater Horizon”, Mexican Gulf

От перегрева начали взрываться топливные баки других самолетов, и пламя стало распространяться по палубе. Через несколько минут начали взрываться бомбы на соседних самолетах [7].

Взрыв ракеты на палубе привел к возникновению наиболее крупного и убыточного пожара на авианосце “Форрестол”, сопровождающегося взрывами авиабомб, подвешенных на боевых самолетах, с пробитием, выгоранием и значительными повреждениями на верхней и нижних палубах. От взрывов и при тушении пожара погибли 134 моряка, ранен 161 моряк. Прямые убытки в ценах 2008 г. составили 512 млн. долл., стоимость сгоревших 20 истребителей F-4, убытки от ремонта авианосца и многомесячного выхода его из строя — 1,5 млрд. долл. [7, 8].

На американских авианосцах “Форрестол”, “Орискани”, “Констеллейшн”, атомном авианосце “Энтерпрайз” происходили катастрофические пожары на верхних палубах из-за взрыва боеприпасов и аварийной посадки самолетов. На атомном авианосце “Энтерпрайз” горящее горючее распространило пожар на пять палуб вниз. Тушение пожара потребовало 4–5 ч напряженной работы экипажа авианосца.

Потери оборудования, самолетов и стоимость ремонта от пожара и пролива сотен тонн воды для тушения пожара составили сотни миллионов долларов и на 11 мес. ослабили боевую мощь 7-го флота США [8, 9]. На Черноморском флоте известен случай возгорания промасленной ветоши, оставленной матросом вблизи нагретого трубопровода. Возник быстроразвивающийся пожар с реальной угрозой взрыва погреба боеприпасов. Корабль срочно вышел из Севастопольской бухты в море. Команде для предотвращения взрыва и тушения пожара потребовалось много часов напряженной работы.

Германский фрегат “Саксония” 21 июня 2018 г. едва не взорвался во время проведения боевых стрельб, пишет “Naval Today”. Инцидент произошел у берегов Норвегии в районе полигона Аннейя во время учений. Первая ракета Standard SM-2 успешно поразила цель, а вторая не вышла из пусковой установки и загорелась (рис. 2). Капитан судна Томас Хакен заявил: “Экипаж оказался перед стеной огня, который едва удалось потушить с помощью насосных установок, предотвратив взрыв корабля — ракетного погреба. В результате инцидента у двоих моряков диагностировали “острую стрессовую ситуацию”, стрельбы были немедленно прекращены, фрегат отправился в норвежский порт Харстад для ремонта” (<https://rg.ru/2018/06/27/video-zennitnaia-raketa-chut-ne-unichtozhila-nemeckij-fregat.html>).

Возгорания наиболее часты и опасны в двигательных отсеках и погребах хранения боеприпасов, чуть реже в других отсеках нижних палуб кораблей, подводных лодок, судов. Компактно расположенные электромоторы, переключатели, система электроснабжения, разветвленная электросеть, топливо и пневмотрубопроводы высокого давления, раскаленные поверхности узлов и агрегатов двигателя яв-

ляются источниками возгораний паров топлива, изоляции электропроводки и ветоши, пропитанной смазкой.

### **Анализ современных систем пожаротушения на судах и кораблях**

Современная пожарная защита кораблей и судов осуществляется стационарными противопожарными системами, автоматическими и дистанционно управляемыми, подающими компактные и распыленные струи забортной воды, пара, углекислого газа, пены, хладонов, инертных газов [10, 11]. Системы должны подавлять развитие очага возгорания в начальной стадии, локализуя развитие пожара и предотвращая его переход во взрыв. Функционирование автоматики в режимах ожидания и работы мало зависит от членов экипажа, что максимально снижает влияние человеческого фактора и тем самым повышает безопасность экипажа [7].

**Систему объемного пожаротушения** (с использованием углекислого газа, хладонов, редко — газов от газогенераторов) монтируют преимущественно на пассажирских и грузовых судах речного флота в машинном отделении главных и вспомогательных жидкотопливных двигателей; в помещениях котлов и генераторов основных и аварийных источников электричества; в местах разветвления главных энергетических магистралей и распределительных щитков; у электродвигателей гребных, вспомогательных; в системах вентиляции оборудования. Лаборатория “Пламя” Военно-морского инженерного института разработала автоматическую систему объемного пожаротушения, включающую исполнительные автономные модули TOP-1500 и TOP-3000, состоящие из баллонов, заполненных огнетушащим газом (ОГ) и снабженных оптико-электронными детекторами фиксации возгорания, подключенными к единой сети внешнего управления и оповещения [6, 8].

**Система водяного пожаротушения**, кольцевая или линейная, монтируется при закладке судов и обеспечивает напор воды в самой дальней точке подключения: на грузовых судах — 350 кПа, на пассажирских — 520 кПа. Открытые участки трубопровода, которые могут замерзнуть, подвергаются обвязке с использованием спускного и отсечного клапана, для того чтобы при их исключении из общей системы она продолжала функционировать. Расстояние между пожарными кранами различное: внутри судна — до 20 м при комплектации 10–15-м пожарными рукавами, на палубе — до 40 м при комплектации каждого крана рукавом 15–20 м [12].

Жилые отсеки и пассажирские канаты комплектуются автоматическими системами пожаротушения со спринклерными распылителями, создающими наиболее (по сравнению с другими системами по-



**Рис. 2.** Начальная стадия пожара при аварийном пуске ракеты на германском фрегате “Саксония”

Fig. 2. Inflame after emergency battle rocket’s start at German ship “Sachsenia”

дачи жидких огнетушащих составов (ОС)) равномерное и тонкодисперсное распыление воды. Система состоит из спринклеров, расположенных на трубопроводе, соединенном трубой с клапаном, и пневмо-гидравлической цистерны под давлением. Минимальная производительность спринклера по нормативам составляет 5 л/мин на 1 м<sup>2</sup> каюты [13], время работы — несколько минут. При этом, несмотря на сотни литров воды, заливающих каюту, тушение не гарантируется из-за недостаточной степени распыла воды, в результате чего часть капель не попадает на горящую поверхность. Тушение гарантируется только при полном затоплении каюты, трюма, отсека. При возникновении пожара в ПЛ отсек затапливается нередко с членами экипажа, если им не удается потушить пожар до момента полного затопления отсека. Это необходимое правило выживания боевого корабля и ПЛ [9].

Дренчерными системами комплектуются в основном грузовые суда: газовозы, танкеры, сухогрузы и контейнеровозы, размещение груза на которых осуществляется горизонтально. Основное отличие этих систем заключается в том, что насос при сигнале тревоги начинает забор и подачу воды в дренчерный трубопровод. Дренчерная система формирует водяные завесы в тех местах палуб корабля, где невозможно установить противопожарные перегородки [14, 15].

**Газовые системы пожаротушения** состоят из батареи газовых баллонов высокого давления и трубопроводов с выпускными головками. На судах их применяют только в грузовых отсеках, помещениях генераторов и насосов, на камбузе, в двигательном отделении с расчетом направления струи по всей площади помещения и непосредственно на генераторы. Относительно высокая эффективность тушения достигается за счет наиболее быстрого заполнения газом всего помещения или объема генератора. Стоимость газовой системы и необходимость периодической замены ОС несоразмерно больше ее огнетушащих преимуществ, если сравнивать с другими системами. В XXI веке на кораблях CO<sub>2</sub> стали заменять на хладоны. Корабли и суда постоянно совершенствуются, и использование старых правил монтажа устройств пожаротушения зачастую неэффективно. Типовые расчеты для стационарных систем используются редко и только для серийных небольших судов [6, 7].

Аэрозольные автоматические системы пожаротушения двигательных отсеков производит компания “НПГ “Гранит-Саламандра”. Система состоит из сети генераторов специального огнетушащего аэрозоля, который активируется с помощью блока управления, находящегося в кабине транспортного средства. Система имеет датчик и устройство авто-

матического запуска генераторов аэрозоля, срабатывающих при критическом повышении температур в защищаемом отсеке. Пороховой аккумулятор давления (ПАД) состоит из корпуса, поджигающего пиропатрона, шашки твердотопливной, фильтра, охладителя, ресивера для продуктов сгорания и сопла. ПАД генерирует огнетушащий аэрозоль. Срок эксплуатации системы в режиме ожидания не менее 10 лет в диапазоне температур от минус 50 до +90 °C. При обнаружении возгорания датчик замыкает электрическую цепь, подает импульс тока на электровоспламенитель, создающий форс-огонь, который поджигает шашку, интенсивно генерирующую газы. Газы в свою очередь повышают давление внутри корпуса до такого уровня, при котором разрушается мембрана. Отсек двигателя заполняется струей аэрозоля из генерируемых газов с начальной температурой 600–800 °C, а после прохождения через охладитель — до 300–400 °C. Генератор фиксируют, чтобы струя аэрозоля, отражаясь от сложной поверхности корпуса мотора, стенок отсека, равномерно заполняла двигательный отсек, вытесняя кислород и ингибируя реакцию горения частицами аэрозоля, осаждающимися на узлах, агрегатах, стенах, покрытых проливами горючего, препятствуя повторному возгоранию его паров [8, 12].

Газовые системы имеют следующие недостатки:

- эффективность газового и газодисперсного объемного тушения сильно зависит от степени вентилируемости двигательного или другого защищаемого отсека;
- узкие струи газов относительно долго заполняют объем отсека; газовая струя, отражаясь, быстро теряет свою энергию и не может обеспечить длительную турбулентность;
- газы не охлаждают основной источник повторного воспламенения высокотемпературной поверхности корпуса двигателя, а утечка топлива продолжается, в результате чего вероятность повторного воспламенения остается высокой.

Кроме того, системы тушения содержат мощный насос или компрессор, множество больших баллонов высокого давления, длинные трубопроводы высокого давления, множество распылительных головок. Вероятность своевременного и равномерного тушения по всему защищаемому объему отсека снижается пропорционально числу головок распыления и длине трубопроводов [7].

В каждом отсеке корабля и ПЛ имеется по нескольку порошковых, пенных, водяных 2–10-литровых огнетушителей в зависимости от объема и степени пожароопасности отсека. За счет скорости движения корабля, ПЛ, вибрации корпуса и постоянно действующей вентиляции к очагу возгорания интенсивно поступает кислород, ускоряя развитие возгорания в пожар, быстро распространяющийся

по отсекам, в двигательном отсеке переходящий во взрывы паров горючего, в боеприпасном — во взрыв гильз с пороховыми зарядами и затем боеголовок с боеприпасами в считанные секунды. Членам экипажа, даже имеющим опыт тренировок и работы с огнетушителями, справиться со стремительно развивающимся пожаром с помощью огнетушителей практически невозможно из-за силы пламени и возгораний в труднодоступных местах. Чтобы сохранить корабль и ПЛ в мирное время, продлить их выживаемость и боеспособность в бою, горящий отсек с членами экипажа задраивается и весь заполняется водой.

Для тушения пожара в каютах и тем более в больших помещениях отсеков, палуб без их затопления, выводящего из строя помещение и все оборудование в нем, необходима новая технология и новое оборудование, позволяющие тушить быстро, эффективно, с минимальными расходами ОС, чтобы исключить одновременно быстрое распространение пожара, развитие его во взрыв, затопление отсеков, палуб, гибель матросов при затоплении [8, 12]. Электронная часть АСП достаточно хорошо развита и унифицирована в различных странах. Основную трудность в создании эффективной АСП представляют очень дорогие, сложные исполнительные подсистемы, состоящие из больших, тяжелых, металлоемких цистерн, длинных трубопроводов высокого давления, больших, мощных насосов [6, 9].

### **Обоснование новых методов и техники спасения**

Оптимальный путь ликвидации вышеуказанных недостатков и достижения достаточного уровня эффективности тушения на морских объектах — быстрое внедрение новых, эффективных исполнительных многоствольных модулей или подсистем разнесенных стационарных стволов для защиты помещения. Принцип их действия напоминает газовое объемное тушение, но имеет большие преимущества перед ним: время выпуска всего ОГ менее 0,1 с, время заполнения помещения до 1–2 с мощным газодисперсным ударным фронтом, многократно отражающимся от поверхностей и, главное, обеспечивающим эффективное охлаждающее действие за счет микроразмеров капель и беспрерывного движения их по защищаемому объему до полного испарения на одной из высокотемпературных поверхностей [7, 8]. Новый механизм за счет этих преимуществ обеспечивает новое качество, впервые соединяя преимущества объемного и поверхностного механизмов тушения, что позволяет отказаться от токсичных высокоактивных огнетушащих газов в пользу экологически чистых воды и растворов.

Операция по внедрению новых исполнительных модулей и подсистем отдельных стволов может быть выполнена в два этапа. На первом новыми исполнительными модулями и подсистемами стволов корабельные АСП комплектуются только дополнительно, а старые исполнительные системы сохраняются в рабочем состоянии. На втором этапе, особенно на новых кораблях, исполнительные модули и подсистемы стволов полностью заменяют громоздкие, дорогие, сложные в обслуживании трубопроводы, насосы, компрессоры, батареи газовых баллонов высокого давления, спринклеры, дренчеры и т. п. [9, 12], что позволяет высвободить целые помещения. Монтаж многоствольных модулей и подсистем стволов не требует много места, осуществляется быстро и просто, с невысокими затратами в силу компактности и небольшой массы новых систем и модулей, а также отсутствия питающих трубопроводов и мощных электролиний. Благодаря универсальности импульсного распыления стволы и модули могут по данной программе обеспечить импульсное тонкодисперсное распыление различных жидкостей, гелей, порошков, пылей огнетушащих и защитных агентов [11, 15]. Это впервые позволяет обеспечить новые качества: комбинированное тушение (наиболее эффективное, а на реальных пожарах единственно эффективное), взрывопредотвращение, постановку светотеплозащитных занавес; осаждение инейтрализацию токсичных газов, паров; локализацию радиоактивных пылей и пр., вплоть до нанесения на открытые поверхности лица и тел всех людей в помещении противоожоговых гелей, растворов, что значительно облегчает и ускоряет последующее лечение, уменьшая боль от ожогов [13].

### **Выбор ММ и схемы тушения на плавающих и береговых объектах на основе анализа полигонных испытаний**

Принцип выбора расстановки многоствольных модулей заключается в сочетании воздействия сразу (за 1 с) по всей защищаемой площади с минимальной необходимой интенсивностью на каждую единицу этой площади. Технически просто и недорого это достигается созданием системы из необходимого количества многоствольных модулей и их расстановкой, обеспечивающей эффективное воздействие и не мешающей работе основного оборудования на защищаемом объекте. Последовательные серии залпов из модулей обеспечивают не менее чем двухкратное воздействие по всей площади объекта и трехкратное и более воздействие на наиболее опасные участки пропорционально уровню их опасности. Например, для мгновенного тушения самолета, вертолета и розлива топлива вокруг них после аварийной посадки на верхней палубе авиа-

несущих кораблей можно предложить систему стационарных мощных и дальнобойных 9-ствольных модулей (рис. 3,*a*), которые могут располагаться вдоль взлетно-посадочной полосы с одной стороны (рис. 3,*b*) или в шахматном порядке. Данная схема была успешно опробована на верхней палубе авианесущего крейсера “Варяг” на стадии его достройки в Николаеве. На палубе были расположены регулярно малые модельные очаги горящего бензина. Испытывался 9-ствольный модуль, распыливший полным залпом из всех стволов 225 кг порошка марки ПСБ-3. Зафиксированная дальность эффективного тушения очагов — до 90 м, ширина — до 11 м, общая площадь тушения в форме вытянутой капли — 650 м<sup>2</sup>.

Исследовано распыление из модуля наиболее приемлемого на корабле огнетушащего агента — воды. Дело в том, что распыление огнетушащего порошка (ОП), обладающего слабым токсичным действием, недопустимо на верхних и тем более нижних палубах корабля, так как он создаст там оптически плотные среды с интенсивным раздражающим воздействием, которые затрудняют эвакуацию, передвижение моряков — членов экипажа и увеличивают уровень их гибели и травматизма. При распылении 54 л воды на расстояние до 60–70 м ширина фронта

газоводяного шквала увеличивается от 1 м за срезом стволов до 8 м на расстоянии 25 м, высота — от 0,5 м за срезом стволов до 3,5 м на расстоянии 25 м. Соответственно, объем “коридора” эффективного тушения горящих поверхностей, сбивания пламени и осаждения дыма составляет 1500–1700 м<sup>3</sup> за 1 с. Это наиболее эффективный и масштабный способ потушить пожар и осадить токсичные облака пыли, паров, газов.

Модуль способен распылять залпом из 9 стволов до 150 л воды (огнетушащего раствора) с созданием газокапельного шквала (ГКШ) с дульной скоростью  $V = 60 \div 70$  м/с, с интенсивно расширяющимся фронтом в диапазоне от 1 до 10 м, движущимся на расстояние до 70 м, с площадью тушения до 350 м<sup>2</sup> за 1 с и интенсивным охлаждением, что предотвращает повторное воспламенение. При распылении 225 кг огнетушащего порошка создается газопорошковый вихрь (ГПВ) с дульной скоростью  $V = 90 \div 100$  м/с, с интенсивно расширяющимся фронтом в диапазоне от 1 до 12 м, движущимся на расстояние до 100 м, с площадью тушения до 500 м<sup>2</sup> за 1 с без охлаждения, с высокой вероятностью повторного воспламенения. При распылении вверх под различными углами, в частности 45°, высота движения газопорошкового вихря составляет 50–65 % от дальности горизонтального движения вихря, а высота движения газоводяного шквала — 45–55 % от дальности горизонтального движения фронта шквала. Анализ результатов экспериментов показал, что ГПВ лучше и масштабнее сбивает пламя с горящего розлива жидкости и, благодаря мультивихревой структуре и высокой кинетической энергии, фронт потока проникает и тушит пламя внутри разрушенного самолета, устранивая возможность объемного взрыва паров легко и быстро испаряющегося авиационного горючего, а газокапельный шквал (ГКШ) надежно предотвращает повторное воспламенение внутри корпуса самолета (вертолета) и вокруг него. Поэтому при реальном тушении аварийного самолета с поврежденным корпусом, горящим изнутри, и горящего розлива топлива вокруг самолета целесообразно последовательно сочетать ГПВ и ГКШ с интервалом несколько секунд. Важно, что их можно тушить также только распылением воды, но при условии создания тонкодисперсной струи с размером капель 5–50 мкм.

Разработаны еще более мощные, не по дальности распыления, а по количеству залпов из 8–10 стволов, модули. Например, 25-ствольный ММ, распыляющий залпами из 8–9 стволов по 120–135 кг ОП на расстояние до 60–70 м, способен потушить до 350–400 м<sup>2</sup> за один залп, а суммарно — до 1200 м<sup>2</sup> при залпах с большими интервалами и до 2500 м<sup>2</sup> — с интервалами до 3–5 с.



**Рис. 3.** Система стационарных модулей импульсного распыла воды для практически мгновенного тушения за 1–2 с горящего самолета при аварийной посадке (*a*) и их расположение вдоль взлетной полосы (*b*)

**Fig. 3.** System of fixed moduls of pulse-spray water ensure really instant for 1–2 sec only and high-effective extinguishing burned airplane after emergency landing (*a*) and their location along the runway (*b*)

Аналогично могут быть потушены горящие газовые и нефтяные скважины на морской нефтедобывающей платформе, в том числе с кустовым расположением скважин. В мае 1989 г. по распоряжению руководства Миннефти СССР из аэропорта Борисполь близ Киева Ил-76 доставил 9-ствольный, 8-ствольный и 25-ствольный модули и команду во главе с автором к месту пожара на нефтедобывающей платформе. Они участвовали в тушении пожара куста из 12 нефтяных скважин с дистанции 100 м с борта финского контейнеровоза — плавучего крана. В огнетушащей атаке приняли участие не менее 6–8 пожарных кораблей с 12–16 гидромониторами, подающими суммарно до 1200–1600 л/с воды, а в момент достижения максимальной интенсивности атаки был произведен залп из 42 стволов, создавший газопорошковый смерч, летящий на расстояние до 150 м. В результате совместной огнетушащей атаки пламя удавалось сбить. Тушение продолжалось более месяца, многоствольные модули участвовали в двух огнетушащих атаках.

Для нижних палуб, двигательных отсеков, коридоров создан и успешно испытан также конструктивно более простой 30-ствольный безоткатный ММ со стволами двухстороннего распыления залпами из 5–6 стволов по 75–90 л воды (раствора), с созданием ГКШ с заданной дисперсностью капель (вплоть до 5–10 мкм), с дальностью подачи до 40–45 м в одну сторону, который способен тушить до 150–200 м<sup>2</sup> за один залп и осаждать густой токсичный дым в коридоре длиной 50 м, высотой 2–4 м, шириной 1–9 м и объемом 600–700 м<sup>3</sup> за 1 с. Это очень важно, так как токсичный дым является главным поражающим фактором при пожарах в современных зданиях, на кораблях и судах. Порошок затрудняет эвакуацию, создавая оптически плотные облака, раздражающие органы зрения, дыхания, обоняния, поэтому его нельзя применять внутри корабля на нижних палубах и в отсеках. Это невозможно еще и потому, что до применения порошка люди должны покинуть помещение, а экипаж судна и тем более корабля не может оставить свои рабочие и боевые посты.

### Опыт испытания последней версии прототипов ММ

В рамках проекта с Китаем на базе предыдущего опыта автора и анализа исследований по физике взрывного распыления [10, 11] разработана новая конструкция ММ стационарного (далее — ММс) и впервые герметичные контейнеры для воды, жидкости, гелей. Контейнеры достаточно прочны, чтобы подвергаться транспортировке с сотрясениями, долго хранятся, быстро и удобно заряжаются в канал ствола. В то же время они легко разрушаются метательной волной пороховых газов на малые лег-

кие осколки, не обладающие поражающим воздействием и вылетающие за срез ствола не далее 10 м. Впервые созданы контейнеры, пригодные для высокоэффективного, многопланового в плане защиты распыления любых веществ и материалов: жидкостей, гелей, порошков, природных экологически чистых материалов, микробиологических препаратов в виде сорбентов или живых культур различных видов действия для тушения, локализации и дезактивации токсичных и радиоактивных выбросов, разливов нефти и нефтепродуктов, обезвреживания (биодеструкции) нефте- и маслозагрязнений, экологического экранирования на период от 3 до 10 лет, биоремедиации, восстановления и рекультивации нарушенных экосистем [14, 15].

Распылительные заряды изготавливаются в удобном и безопасном для заряжания варианте. Металлические гильзы с электрокапсюльной втулкой промышленно производятся в Китае. Последний этап испытаний показал высокие возможности модулей ММс-9 (цифра — число стволов), ММс-20 и ММс-30, которые потушили залпом из 10 стволов, распыляющих суммарно 200 кг ОП, большой модельный очаг пожара с дистанции 150 м за 1 с, создав вихрь, распространявшийся более чем на 220 м и охвативший площадь до 1000–1200 м<sup>2</sup>. Испытания проводились по следующей схеме: ММ-20 — первый залп с дистанции 100 м, ММ-30 — второй залп с дистанции 120 м, ММ-9 — третий залп с дистанции 95 м. Модельный очаг был потушен первым же залпом, последующие два залпа демонстрировали реальную, технически несложную, недорогую реальную возможность многократной, надежной, безотказной, программируемой и гибко управляемой защиты заданного опасного участка. При этом защита может быть комбинированной: разрушение и охлаждение обугленной высокотемпературной поверхности горения + ингибиование + сбивание пламени + изолирование от доступа теплового потока и кислорода путем программируемого распыления различных огнетушащих составов последовательными залпами с заданными интервалами. Газопорошковый вихрь преимущественно ингибирует горючие радикалы, препятствуя их реагированию с кислородом (реакции горения). Газоводяной ударный шквал осаждает дым, сбивает пламя, а главное — осуществляет проникающее напыление капель в обугленный слой, разрушая и охлаждая его по всей толщине [16, 17].

В период 1980–1994 гг. ряд экспериментальных и опытно-промышленных модулей (ММ-7, ММ-8, ММ-9, ММ-10, ММ-25) изготавливались на базе двухосных лафетов, шахтных тележек, прицепов, салазок. Все ММ успешно прошли испытания на полигонах при тушении различных модельных по-

жаров классов A, B, C, D, F, а также реальных лесных пожаров в Чернобыльской зоне, пожаров в шахтах с дистанции более 200 м, горящего самолета на взлетно-посадочной полосе в Борисполе. Тушение в шахте с угледобывающим оборудованием достаточно корректно моделирует тушение на корабельных нижних палубах, в двигательных отсеках, коридорах, эффективно обеспечивает пути эвакуации экипажа. Наиболее простая в производстве и монтаже на защищаемом объекте, но высокоэффективная конструкция ММс безопасна, так как успешно гасит мощную отдачу залпа из 9 стволов за счет небольшого отката, всего на 1 м. Стационарные ММс необходимо оборудовать простыми устройствами гашения отката отдельных стволов и всего модуля в целом. ММс в ходе многолетнего нахождения в режиме ожидания не требует сервисного обслуживания, кроме контроля слаботочным импульсом целостности инициирующей цепи. Раз в год для проверки можно отстреливать 1–2 ствола, и если распыление нормальное, то допускается перезарядка только этих стволов. Качественная сборка контейнеров с ОС и распылительных патронов при правильном заряжании может гарантировать безотказное срабатывание ММс в период нахождения в режиме ожидания до 10 лет. Традиционные боеприпасы сохраняют пригодность до 15–20 лет.

ММ могут компактно размещаться на защищаемых палубах и в отсеках корабля, танкера, судна. При этом, как было убедительно продемонстрировано в результате последних испытаний на полигоне в Дун-Хуа, они могут технически просто и с небольшими затратами создавать двух-трехкратное и более (по мере необходимости) перекрытие огнетушащими шквалами особо опасных участков двигательных отсеков, погребов боеприпасов — ракет, торпед, снарядов. Особенno важен многократный резерв надежной защиты от пожаров в хранилищах боеприпасов с атомными боеголовками.

### **Обоснование целесообразности и рекомендации по применению ММ**

Надежность тушения ММ обеспечивается комплексом факторов, к которым относится: автономность работы, высокие быстродействие, масштаб тушения, огнетушащая эффективность, а также отсутствие трубопроводов, больших цистерн высокого давления, насосов, компрессоров. Гибкость управления и технически легко достигаемая многократность воздействия на опасный участок создает беспрецедентные возможности в плане нового качества защиты. Алгоритмы программ для порядка срабатывания линий и групп стволов в одной или системе нескольких ММ, защищающих один отсек, составляются на основании изучения возможных сцена-

риев развития возгораний и пожаров на защищаемых палубах, в отсеках и вариантов их защиты с помощью серий залпов из системы ММ. Динамика возможных вариантов развития пожара зависит от ряда факторов — причин и мест возникновения возгораний, технологических режимов работы оборудования в отсеке; вариантов отключения магистральных трубопроводов топлива, воды и энергетических линий, основных и вспомогательных двигателей, отдельных аппаратов, вентиляции и пр. Изучение путей возникновения и развития пожаров дифференцированно по различным защищаемым участкам позволит определить оптимальную тактику тушения — порядок срабатывания групп и отдельных ММ. Эффективность исполнительной подсистемы ММ определяется легкостью перенастройки алгоритма пожаротушения и корректировки управляющих программ в зависимости от изменения текущих параметров защищаемых боевых постов, двигательных отсеков и других объектов. Это особенно актуально в случае поджогов, поражающего воздействия попавших в корабль ракет, снарядов и последствий их попадания, затрагивающих работоспособность и безопасность боевых постов, пусковых ракетных установок, артиллерийских башен, погребов боеприпасов, двигательных отсеков, командных постов и пр. То же самое можно сказать относительно возгораний на судне, танкере, где затрагиваются работоспособность и безопасность рабочих постов, двигательных отсеков, танков с нефтью и нефтепродуктами. Изменения в режимах работы этих участков корабля, судна, связанные с развитием пожара и осуществлением тушения, необходимо оперативно увязывать с состоянием корабля в целом.

Применение ММ впервые в практике работы автоматических систем тушения дает возможность получить соответствие временных масштабов совокупности процессов: развития поджога, обработки информации, принятия решений и их эффективного исполнения. Это означает возможность своевременного тушения при различных поджогах. Соответствие времен принятия решений, их выполнения, контроля и корректировки последовательности залпов воздушных воздействий — главное условие эффективного применения АСП. ММ стоят на одном качественном уровне по быстроте и надежности срабатывания и тушения, по точности и масштабу тушения с датчиками, аналоговыми и командными блоками современных АСП. Впервые исполнительная система гарантирует равномерное воздействие на значительную площадь —  $10^2$ – $10^4$  м<sup>2</sup> и более и поэтому впервые может обеспечить тушение за минимально возможное время. Это позволяет тушить пожары, быстро возникающие и развивающиеся

вследствие серьезных аварий — разрыва емкостей и трубопроводов высокого давления, взрывов боеприпасов на корабле, артиллерийских и ракетных обстрелов, создающих моментально интенсивное и масштабное горение на нефтяной платформе, корабле, судне, переходящее в быстроразвивающийся пожар или серию взрывов, как правило, нарастающих по мощности. Универсальность АСП обеспечивается за счет различной компоновки ММ и типовых электронных блоков, обработки данных датчиков возгорания, принятия решений и их реализации системой нескольких ММ, взаимодействующих по единой функциональной схеме [18].

Надежность, быстродействие системы и уменьшение вероятности ложного срабатывания могут быть достигнуты также следующими путями: повышением устойчивости датчиков к помехам за счет структуры сети датчиков, их дублирования или введения подсистемы, различающей помехи от возгораний; применением датчиков, работающих по логическим схемам, подтверждающим достоверность возникновения пожара; централизованным сбором информации об изменении параметров состояния объекта и окружающей его среды. Быстродействие ММ компенсирует потери времени на анализ достоверности показаний сети датчиков.

Для своевременного тушения возгораний — предотвращения пожаров и взрывов на кораблях и судах именно автоматизированные защитные системы с импульсными исполнительными ММ впервые дают возможность получить соответствие временных масштабов процессов обработки информации о возгораниях и об их развитии, принятия решений и их эффективной реализации. Это означает реальную возможность своевременного огнетушащего воздействия при высоких скоростях развития пожаров, что является главным условием эффективного использования самоуправляемых автоматических систем пожаротушения и взрывопредотвращения. Импульсно-распылительные ММ по скорости и эффективности действия вполне сравнимы с современными системами автоматизации. Универсальность импульсно-распылительных исполнительных подсистем ММ обеспечивается за счет различной компоновки типовых ММ, взаимодействующих по единой функциональной схеме. Невысокая стоимость АСП с импульсно-распылительной исполнительной подсистемой (далее — АСПимп) обеспечивается дешевизной и долговечностью ММ, а также возможностью включения данной системы в уже существующую систему автоматизированного управления кораблем и судном. АСПимп удобна в эксплуатации благодаря использованию стандартных электронных узлов, возможности проверки простейшими имитаторами горения и осуществления проверок без пуска системы. Система при срабатывании обес-

печивает возможность эвакуации экипажа и сохранность оборудования и материалов за счет воздействия на них импульсных вихрей. Предлагаемая модернизация системы по качеству превосходит другие возможные варианты, поэтому именно ММ перспективны для быстрого усиления защиты кораблей, судов, портовых сооружений, морских нефтедобывающих платформ [19, 20].

### **Локализация и ликвидация розливов нефти и нефтепродуктов**

Помимо тушения пожаров и предотвращения взрывов на гражданских судах, очень важна ликвидация розливов нефти и нефтепродуктов, произошедших вследствие аварий, пиратских и террористических атак. Наиболее передовой технологией является распыление по пленке розлива нефти биосорбентов, быстро поглощающих пленку и перерабатывающих ее в инертный остаток, в результате чего гранулы биосорбента тонут, не загрязняя водный бассейн. Однако для распыления этих легких, пористых гранул нет техники [17].

Рассмотрим результаты экспериментов по импульсному распылению гранул биосорбента из ММ. Экспериментально определены оптимальные диапазоны, обеспечивающие дальнее и крупномасштабное распыление из одного ствола массы биосорбента 1,5 кг и равномерное распределение его по значительной площади — до 35 м<sup>2</sup> при удельных расходах от 15 до 25 г/м<sup>2</sup> согласно паспорту биосорбента. Внимательный осмотр зоны нефтяного розлива, покрытой равномерным слоем распыленного биосорбента, показал, что большая часть гранул биосорбента (до 80–90 %) эффективно впитывает и перерабатывает нефтяную пленку в интервале времени до 2 ч, как и в случае ручного распыления биосорбента. При этом потери биосорбента в пределах 10–20 % от исходной распыляемой массы в 5–20 раз меньше, чем потери при распределении биосорбента по данной площади 35 м<sup>2</sup> традиционным методом — вручную с помощью лопаты или совка [17, 21].

Убедительно показано главное преимущество импульсного залпового распыления, свойственное только газодисперсным вихрям, — взаимное усиление и слияние при оптимальном взаимодействии составляющих вихрей из отдельных стволов. Масштабы воздействия суммарного вихря увеличивались в 1,5–2,5 раза по сравнению с арифметической суммой площадей, которые подвергались воздействию вихрей из отдельных стволов. Увеличена дальность функционального воздействия суммарного вихря до 53 м (в 4,5 раз больше по сравнению с выстрелом-распылением из одного ствола) и площадь равномерного распыления биосорбента — до 450 м<sup>2</sup> при залпе из 5 стволов, расположенных в шахмат-

ном порядке. Это в 2,3 раза больше, чем сумма отдельных площадей эффективного воздействия при последовательном распылении из 5 стволов. Для сравнения залповое воздействие боевых ракет или снарядов не увеличивает дальности их полета, а только повышает площадь поражения до 1,5 раза по сравнению с арифметической суммой площадей поражения таким же количеством отдельных взрывов ракет и снарядов. Показана возможность снижения себестоимости ликвидации 1 м<sup>2</sup> розлива с 20–40 до 1–3 долл. и сокращения времени ликвидации розливов до 5–10 раз, что в многократной степени позволит снизить материальные и экологические убытки от розлива нефти [20].

Полученные высокие значения функциональных показателей позволяют уверенно предлагать технологический процесс и оборудование — многоствольный модуль импульсного распыления биосорбентов для практического использования в виде стационарных палубных модулей на кораблях, например на скоростных аварийно-спасательных больших катерах или маневренных портовых буксирах. Достигнутая дальность эффективного распыления позволяет кораблям “расстреливать” розливы нефти и нефтепродуктов, не входя в зону розлива, так как после прохождения любого корабля или судна, особенно скоростного, по нефтяной пленке ее трудно ликвидировать. Масштаб эффективного распыления и скорость эффективного воздействия по розливам нефти позволяют малому количеству кораблей (2–4 на акваторию порта и прилегающую территорию побережья) надежно и быстро ликвидировать различные нефтяные розливы вплоть до крупномасштабных. Для защиты определенного участка морского побережья, находящегося между этими портами, целесообразно оснастить этими установками минимум по 2–3 вспомогательных судна в каждом порту — буксиры, пожарно-спасательные. Вся полоса побережья поделена между портами на зоны их ответственности. Суда с распылительными установками от каждого порта работают по своей зоне при розливах нефти, площадь и массы которых не превышает средней величины.

### Выводы

Предлагаемая принципиально новая исполнительная подсистема АСП на базе ММ высокоэффективна, безопасна, универсальна, качественно пре- восходит лучшие в мире АСП с гидравлическими, пневматическими, газогенерирующими аэрозоль-

ными, пневмоимпульсными исполнительными уст- новками:

- расходы огнетушащих составов в 10–100 раз ниже, что позволяет тушить автономно — только запасом ОС в стволах ММ;
- гибкая и простая регулировка вида, мощности и масштаба воздействия, увеличивающихся пропорционально числу устройств, модулей без снижения надежности и эффективности воздействия;
- низкая себестоимость производства и сервисного обслуживания;
- экологически чистое тушение и обеспечение эвакуации;
- малые размеры емкостей высокого давления; время существования высокого давления всего доли секунды; 10-кратный запас прочности емкостей, практически исключающий их разрыв, что обеспечивает безопасность работы с оборудованием;
- простая конструкция: отсутствие газовых баллонов, компрессоров, насосов, резервуаров и трубопроводов, опасных емкостей с длительно держащимся высоким давлением, рукавов подачи ОС, что обеспечивает высокую технологичность и низкую себестоимость массового производства на различных заводах, простой ремонт и обслуживание; обслуживание стационарного ММ требует только контроля электролинии инициирования срабатывания;
- надежное и стабильное распыление в широком диапазоне температур — от минус 50 до +50 °C, климатических условий, влажности, запыленности, при скорости ветра до 5 м/с;
- предотвращение взрывов газопаропылевоздушных сред в помещении и на открытом воздухе;
- локализация розливов нефти на реках, озерах, море, океане;
- остановка пиратских атак по всему периметру большого судна и танкера, нефтедобывающей вышки в море;
- впервые отсутствие ограничений на агрегатное состояние, плотность, вязкость ОС; обеспечение комбинированного тушения.

Реализация данного проекта в России позволит в весьма значительной степени повысить безопасность морских и речных кораблей, судов, барж, танкеров, портов, припортовых промышленных объектов, экологии водных бассейнов и прилегающих к ним районов и, как следствие, повысить безопасность экономики Российской государства в целом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lehner P., Deans B. In deep water: the anatomy of a disaster, the fate of the gulf, and how to end our oil addiction. — New York : OR Books, 2010. — 173 p. DOI: 10.2307/j.ctt1bkm5hb.

2. Final report on the investigation of the Macondo well blowout / Deepwater Horizon Study Group. — Washington, DC : The National Academies Press, 2011. — 126 p.
3. *Brown Eryn.* Bacteria in the gulf mostly digested gas, not oil, study finds // Los Angeles Times. — September 16, 2010.
4. *Minkin D. Yu., Mironchев A. V., Tursenev S. A.* Technologies of maintaining fire safety of the offshore oil and gas fields facilities // Pollution Research. — 2017. — Vol. 36, No. 3. — P. 640–644.
5. *Ott Riki.* Bio-remediation or bio-hazard? Dispersants, bacteria and illness in the gulf. URL: [https://www.huffingtonpost.com/riki-ott/bio-remediation-or-bio-ha\\_b\\_720461.html](https://www.huffingtonpost.com/riki-ott/bio-remediation-or-bio-ha_b_720461.html) (дата обращения: 15.07.2018).
6. *Любимов Е. В., Трифонов И. В., Цинян Кун.* Пожарные суда как элемент системы обеспечения безопасности при морской добыче углеводородного сырья // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2013. — № 4. — С. 11–15. URL: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V54/3.pdf> (дата обращения: 09.07.2018).
7. *Freeman G. A.* Sailors to the end: the deadly fire on the USS Forrestal and the heroes who fought it. — New York : HarperCollins, 2004. — 307 p.
8. The terrible fire aboard the USS Forrestal was the worst single Naval casualty event of the Viet Nam War / Warfighter's Encyclopedia. Did You Know..? : Internet Archive. URL: [https://web.archive.org/web/20041105120949/https://wrc.navair-rdte.navy.mil/warfighter\\_enc/History/dyk/1stpage/forr-fire.htm](https://web.archive.org/web/20041105120949/https://wrc.navair-rdte.navy.mil/warfighter_enc/History/dyk/1stpage/forr-fire.htm) (дата обращения: 10.07.2018).
9. *Arvidson M.* Large-scale water spray and water mist fire suppression system tests for the protection of ro-ro cargo decks on ships // Fire Technology. — 2014. — Vol. 50, Issue 3. — P. 589–610. DOI: 10.1007/s10694-012-0312-7.
10. *Thomas G. O.* On the conditions required for explosion mitigation by water sprays // Process Safety and Environmental Protection. — 2000. — Vol. 78, Issue 5. — P. 339–354. DOI: 10.1205/095758200530862.
11. *Segal C., Chandy A., Mikolaitis D.* Breakup of droplets under shock impact // Combustion Processes in Propulsion. Control, Noise and Pulse Detonation / Roy G. D. (ed.). — Oxford : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006. — P. 321–328. DOI: 10.1016/b978-012369394-5/50034-2.
12. ISQ 16733-1:2015. Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires — Part 1: Selection of design fire scenarios. — Geneva, Switzerland : BSI, 2015. — 31 p. DOI: 10.3403/30300271U
13. *Park S. W., Kim S., Lee C. S.* Breakup and atomization characteristics of mono-dispersed diesel droplets in a cross-flow air stream // International Journal of Multiphase Flow. — 2006. — Vol. 32, No. 7. — P. 807–822. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2006.02.019.
14. *Zakhmatov V. D., Silnikov M. V., Chernyshov M. V.* Devices to beat out the flames of rocket propulsive jets at spaceship starting // European Journal of Natural History. — 2016. — No. 4. — P. 72–79.
15. *Luxford G., Hammond D. W., Ivey P.* Role of droplet distortion and break-up in large droplet aircraft icing // 42<sup>nd</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (5–8 January, 2004, Reno, Nevada). — 2004. — Paper AIAA 2004-411. DOI: 10.2514/6.2004-411.
16. *Yanson L. M., Phariss M. R., Hermanson J. C.* Effects of liquid superheat on droplet distortion in supersonic stream // 43<sup>rd</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (10–13 January, 2005, Reno, Nevada). — 2005. — Paper AIAA 2005-351. DOI: 10.2514/6.2005-351.
17. *Щербак М. В.* Система для импульсного напыления адсорбентов на нефтяную пленку на акватории // Научный сборник техногенно-экологической безопасности и защиты. — 2010. — № 2. — С. 64–74.
18. *Краснокутский В. В., Лукомский К. И., Камерлохер В. А.* Обоснование штатной установки системы тушения пожара в подкапотном пространстве автомобиля // Молодой ученый. — 2015. — № 12.1(92.1). — С. 37–39.
19. *Захматов В. Д.* Система комплексной ликвидации аварийных ситуаций на взрывоопасных и химически опасных промышленных объектах // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 43–57.
20. *Кряжич О. А., Захматов В. Д.* Модели управления импульсной пожаровзрывной защитой химического предприятия // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 81–88.
21. *Щербак Н. В.* Корабельные палубные установки импульсного распыления биосорбентов для ликвидации разливов нефти на акватории // Научный сборник техногенно-экологической безопасности и защиты. — 2011. — № 6. — С. 37–43.

Материал поступил в редакцию 23 июля 2018 г.

**Для цитирования:** Захматов В. Д., Турсенев С. А., Мирончев А. В., Чернышов М. В., Озеров А. В., Дорожкин А. С. Анализ существующих и обоснование применения новой автоматической системы пожаровзрывозащиты судов, кораблей, нефтедобывающих платформ // Пожаро-взрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 9. — С. 50–63. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.50-63.

English

## ANALYSIS OF EXISTING AND JUSTIFICATION OF APPLYING NEW AUTOMATIC SYSTEM FOR FIRE-AND-EXPLOSION PREVENTION AT VESSELS, SHIPS, OFFSHORE OIL PLATFORM

**ZAKHMATOV V. D.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Saint Petersburg University of Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: zet.pulse@gmail.com)

**TURSENEV S. A.**, Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Planning, Organization and Coordination of Scientific Research, Saint Petersburg University of Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: stursenev@yandex.ru)

**MIRONCHEV A. V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Retraining and Advanced Training of Specialists, Saint Petersburg University of Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: mironchev@list.ru)

**CHERNYSHOV M. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Plasmogazodynamics and Heat Engineering Department, Baltic State Technical University "VoenMeh" named after D. F. Ustinov (1-ya Krasnoarmeyskaya St., 1, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: mvcher@mail.ru)

**OZEROV A. V.**, Director of the Zola Company, Business Center Reduktor (Industrialnaya St., 19, letter P, of. 301, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation)

**DOROZHIN A. S.**, Senior Lecturer of Department of Fire Safety of Buildings and Automated Fire Extinguishing Systems, Saint Petersburg University of Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: alex01spb@yandex.ru)

### ABSTRACT

**Introduction.** A brief analysis of catastrophic fires and explosions on the offshore oil platform, ships and vessels is performed. It's shown the relevance of the qualitative improvement of marine fire equipment. Analysis of modern fire fighting systems on vessels, ships: sprinkler, deluge, gas and pneumatic-impulse fire extinguishing systems is carried out. It's substantiated new equipment for upgrading existing systems — subsystems of multi-module pulse, vortex combined quenching for the protection of ships, vessels, tankers, offshore oil platforms. The choice of the arrangement of modules based on the results of polygon tests is described. There are created systems of modules for the upper decks, engine rooms, holds, corridors, gangways, sections, electrical cabinets, etc. The modules create gas-water squalls, gas-powder vortices that extinguish all fires and continuous fires in all or part of the compartment and deck in seconds. The participation of pilot modules in operations for eliminating the consequences of disasters in hard-to-reach zones of collapses, with high levels of radioactive and toxic contamination in emergency locations is described.

**Description and analysis of experiments.** The recommendations on the use of multi-barrel modules based on the analysis of experiments on the creation of fine-dispersed water squalls for extinguishing developed fires of classes A, B, C, F, the inhibition of explosive vapor-air clouds, the deposition and detoxification of gas-air clouds of ammonia and chlorine are substantiated and developed. The localization and liquidation of oil and oil products are described. The possibility of reducing the cost of liquidation of 1 sq m of bottling from \$ 20–40 to \$ 1–3 is shown, and reducing the time for liquidation of bottles to 5–10 times, which in a more multiple degree will reduce material and environmental losses from oil bottling.

**Conclusion.** The advantages of introducing new technology and techniques for eliminating the consequences of accidents at sea and preventing their development into a catastrophe are summarized.

**Keywords:** vessel; tanker; ship; multi-barrels module; pulse spray; gas-water squall; gas-powder whirly; serial of volleys; combine extinguishing; blow flame; smoke sediment; penetration spray of droplets; carbonized zone; destruction; intensive cooling.

## REFERENCES

1. Lehner P., Deans B. *In deep water: the anatomy of a disaster, the fate of the gulf, and how to end our oil addiction*. New York, OR Books, 2010. 173 p. DOI: 10.2307/j.ctt1bkm5hb.
2. Deepwater Horizon Study Group. *Final report on the investigation of the Macondo well blowout*. Washington, DC, The National Academies Press, 2011. 126 p.
3. Brown Eryn. Bacteria in the gulf mostly digested gas, not oil, study finds. *Los Angeles Times*, September 16, 2010.
4. Minkin D. Yu., Mironchev A. V., Tursenev S. A. Technologies of maintaining fire safety of the offshore oil and gas fields facilities. *Pollution Research*, 2017, vol. 36, no. 3, pp. 640–644.
5. Ott Riki. *Bio-remediation or bio-hazard? dispersants, bacteria and illness in the gulf*. Available at: [https://www.huffingtonpost.com/riki-ott/bio-remediation-or-bio-ha\\_b\\_720461.html](https://www.huffingtonpost.com/riki-ott/bio-remediation-or-bio-ha_b_720461.html) (Accessed 15 July 2018).
6. Lyubimov E. V., Trifonov I. V., Tsinyan Kun. Fire vessels as the element of system of safety at sea production of hydrocarbonic raw materials. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2013, no. 4, pp. 11–15 (in Russian). Available at: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V54/3.pdf> (Accessed 9 July 2018).
7. Freeman G. A. *Sailors to the end: the deadly fire on the USS Forrestal and the heroes who fought it*. New York, HarperCollins, 2004. 307 p.
8. The terrible fire aboard the USS Forrestal was the worst single Naval casualty event of the Viet Nam War. In: Warfighter's Encyclopedia. *Did You Know..? Internet Archive*. Available at: [https://web.archive.org/web/20041105120949/https://wrc.navair-rdte.navy.mil/warfighter\\_enc/History/dyk/1stpage/forrfire.htm](https://web.archive.org/web/20041105120949/https://wrc.navair-rdte.navy.mil/warfighter_enc/History/dyk/1stpage/forrfire.htm) (Accessed 10 July 2018).
9. Arvidson M. Large-scale water spray and water mist fire suppression system tests for the protection of ro-ro cargo decks on ships. *Fire Technology*, 2014, vol. 50, issue 3, pp. 589–610. DOI: 10.1007/s10694-012-0312-7.
10. Thomas G. O. On the conditions required for explosion mitigation by water sprays. *Process Safety and Environmental Protection*, 2000, vol. 78, issue 5, pp. 339–354. DOI: 10.1205/095758200530862.
11. Segal C., Chandy A., Mikolaitis D. Breakup of droplets under shock impact. In: Roy G. D. (ed.). *Combustion Processes in Propulsion. Control, Noise and Pulse Detonation*. Oxford, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006, pp. 321–328. DOI: 10.1016/b978-012369394-5/50034-2.
12. ISQ 16733-1:2015. *Fire safety engineering—Selection of design fire scenarios and design fires—Part 1: Selection of design fire scenarios*. Geneva, Switzerland, BSI, 2015. 31 p. DOI: 10.3403/30300271U.
13. Park S. W., Kim S., Lee C. S. Breakup and atomization characteristics of mono-dispersed diesel droplets in a cross-flow air stream. *International Journal of Multiphase Flow*, 2006, vol. 32, no. 7, pp. 807–822. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2006.02.019.
14. Zakhmatov V. D., Silnikov M. V., Chernyshov M. V. Devices to beat out the flames of rocket propulsive jets at spaceship starting. *European Journal of Natural History*, 2016, no. 4, pp. 72–79.
15. Luxford G., Hammond D. W., Ivey P. Role of droplet distortion and break-up in large droplet aircraft icing. In: *42<sup>nd</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (5–8 January, 2004, Reno, Nevada)*, 2004, paper AIAA 2004-411. DOI: 10.2514/6.2004-411.
16. Yanson L. M., Phariss M. R., Hermanson J. C. Effects of liquid superheat on droplet distortion in supersonic stream. In: *43<sup>rd</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (10–13 January, 2005, Reno, Nevada)*, 2005, paper AIAA 2005-351. DOI: 10.2514/6.2005-351.
17. Shcherbak N. V. System for aviation pulse adsorbents deposition on the oil film on the water area. *Nauuchnyy sbornik tekhnogenno-ekologicheskoy bezopasnosti i zashchity / Scientific Journal Technogenic and Ecological Safety and Protection*, 2010, no. 2, pp. 64–74 (in Russian).
18. Krasnokutskiy V. V., Lukomskiy K. I., Kamerlokher V. A. Substantiation of the regular installation of a fire extinguishing system in the car's engine compartment. *Molodoy uchenyy / Young Scientist*, 2015, no. 12.1(92.1), pp. 37–39 (in Russian).

19. Zakhmatov V. D. System of combine liquidation of emergency consequences at explosive-able and toxically dangerous chemical enterprises. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 43–57 (in Russian).
20. Kryazhich O. A., Zakhmatov V. D. Models of control of pulse protection against explosions and fires at the chemical enterprise. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 81–88 (in Russian).
21. Scherbak N. V. Ship deck's unit for pulse pulverization of biology sorbents liquidating the oil spread at water. *Nauchnyy sbornik tekhnogenno-ekologicheskoy bezopasnosti i zashchity / Scientific Journal Technogenic and Ecological Safety and Protection*, 2011, no. 6, pp. 37–43 (in Russian).

**For citation:** Zakhmatov V. D., Tursenev S. A., Mironchev A. V., Chernyshov M. V., Ozerov A. V., Dorozhkin A. S. Analysis of existing and justification of applying new automatic system for fire-and-explosion prevention at vessels, ships, offshore oil platform. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 9, pp. 50–63 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.50-63.



# Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ : монография.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА".



Изложены современные подходы к нормированию площадей пожарных отсеков и раскрыты требования к ним. Предложен метод научно-технического обоснования размеров пожарных отсеков с учетом вероятностного подхода на основе расчета пожарного риска. Рассмотрены возможности расчета вероятностных показателей, используемых в разработанном методе. Представлены основные достижения в данном направлении отечественной и зарубежной науки; приведены сведения о положительных и отрицательных сторонах действующей системы технического регулирования.

Монография ориентирована на научных и инженерных работников, занимающихся вопросами проектирования противопожарной защиты зданий и сооружений, а также на научных и практических работников пожарной охраны, преподавателей и слушателей учебных заведений строительного и пожарно-технического профиля, специалистов страховых компаний, занимающихся вопросами оценки пожарного риска.

Монография рекомендуется к использованию при выполнении научно-исследовательских и нормативно-технических работ по оптимизации объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений, в том числе тех, на которые отсутствуют нормы проектирования, а также при проведении оценки страхования пожарных рисков.

Разработанный метод расчета может быть положен в основу технических регламентов и сводов правил в области строительства и пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 6; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru