

Научная статья

УДК 532.529

## **ТЕХНИКА ИМПУЛЬСНОГО ТУШЕНИЯ ГОРЯЩИХ АВТОЦИСТЕРН В ТОННЕЛЯХ И УЗКИХ ДОРОГАХ С ПРЕДОТВРАЩЕНИЕМ ВЗРЫВОВ ТОПЛИВО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ**

✉ Захматов Владимир Дмитриевич;

Крутолапов Александр Сергеевич;

Минкин Денис Юрьевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ [zet.pulse@gmail.com](mailto:zet.pulse@gmail.com)

*Аннотация.* Приведено описание новой техники импульсного, дистанционного, быстрого тушения горящего топлива и предотвращение взрывов топливовоздушных смесей в различных ситуациях. Обоснована возможность применения новой техники для тушения пожаров различных видов бензина, дизельного топлива в колоннах автомобилей, автоцистерн, составах железнодорожных цистерн и локомотивах, находящихся в тоннелях или на узких дорогах в лесу. Выделена общая черта этих ситуаций: ограниченная или отсутствующая возможностью объехать горящую, взрывоопасную автоцистерну или быстро отъехать из зоны вероятного воспламенения от теплового излучения пламени и поражения ударной волной и горящими разлетающимися фрагментами корпуса и автоцистерны при взрыве горящего автомобиля. Обоснована целесообразность применения многоствольных, распылительных модулей.

*Ключевые слова:* пожар, тоннель, встречные потоки тепла и дыма, токсичность, отсутствие видимости, огнетушащие шквалы, вихри, смерчи

**Для цитирования:** Захматов В.Д., Крутолапов А.С., Минкин Д.Ю. Техника импульсного тушения горящих автоцистерн в тоннелях и узких дорогах с предотвращением взрывов топливовоздушных смесей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 114–126.

Scientific article

## **THE TECHNIQUE OF PULSE EXTINGUISHING OF BURNING TANKERS IN TUNNELS AND NARROW ROADS WITH THE PREVENTION OF EXPLOSIONS OF FUEL-AIR MIXTURES**

✉ Zakhmatov Vladimir D.;

Krutolapov Alexander S.;

Minkin Denis Yu.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ [zet.pulse@gmail.com](mailto:zet.pulse@gmail.com)

*Abstract.* The description of a new technique of pulsed, remote, rapid extinguishing of burning fuel and prevention of explosions of fuel-air mixtures in various situations is given. The possibility of using new technology to extinguish fires of various types of gasoline, diesel fuel in columns of cars, tank trucks, railway tank trains and locomotives located in tunnels or on narrow roads in the forest is substantiated. A common feature of these situations is highlighted: limited or absent ability to drive around a burning, explosive tanker truck or quickly drive away from the zone of probable ignition from the thermal radiation of the flame and damage by a shock wave and burning flying fragments of the hull and tanker truck during the explosion of a burning car. The expediency of using multi-barrel, spray modules is substantiated.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

---

*Keywords:* fire, tunnel, oncoming heat and smoke flows, toxicity, lack of visibility, fire extinguishing squalls, whirlwinds, tornadoes

**For citation:** Zakhmatov V.D., Krutolapov A.S., Minkin D.Yu. The technique of pulse extinguishing of burning tankers in tunnels and narrow roads with the prevention of explosions of fuel-air mixtures // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 114–126.

## Введение

Традиционная пожарная техника неэффективно и очень долго тушит пожары в железнодорожных, автомобильных, кабельных тоннелях, в метро. Войны последнего десятилетия показали высокую актуальность аналогичных ситуаций – тушения горящих автоцистерн и военных машин при движении колонн по узким дорогам в лесу, холмистой местности, оврагам. Традиционные пожарные машины не могут подъехать в тоннеле к пожару на дистанцию эффективного тушения из-за мощного встречного потока высокотемпературного, токсичного дыма, на узких дорогах – к горящим автоцистернам из-за опасности их неожиданного взрыва, тем более что в прифронтной полосе пожарных команд нет.

Актуальность: тушение пожара в тоннелях и в меньшей степени на узких дорогах, в условиях полузакрытого пространства, осложнено встречными потоками токсичного, густого, высокотемпературного дыма, не позволяющими традиционным пожарным автомобилям, даже тяжелого типа, приблизиться на дистанцию эффективного тушения. Другая причина – пробки в тоннелях из аварийных и брошенных автомобилей, остановленная колонна топливозаправщиков, грузовиков, самоходных артиллерийских установок (САУ), бронетранспортеров (БТР), боевых машин пехоты (БМП) – сложная задача, справиться с которой своевременно и спасти людей практически невозможно с помощью современных стационарных систем тушения пожаров в тоннелях и пожарных машин на узких дорогах. Необходима принципиально новая техника.

## Обзор причин возгораний и существующих стационарных систем тушения в тоннелях

Основные причины возгораний нефтепродуктов в тоннелях:

1. Аварии автомобилей, цистерн локомотивов, короткие замыкания электрооборудования в тоннеле, взрыв паров бензина от искр электротехнического оборудования.
2. На узких дорогах в прифронтной полосе – ракетно-артиллерийские обстрелы, авиационная бомбежка с самолетов, вертолетов, прицельное сбрасывание малых зарядов взрывчатых веществ (ВВ) с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Современные системы объемного пожаротушения (СОПТ) в тоннелях, использующие азот, углекислый газ, хладон и более дорогие – аэрозольные, тушат только возгорания внутри герметичных или слабо вентилируемых малых помещений, электрораспределительных ящиков, трансформаторных станций. СОПТ не тушат возгорания и локальные пожары в автомобильном и железнодорожном тоннелях, интенсивно и постоянно вентилируемых, в больших помещениях ангаров. СОПТ тушат возгорания в начальной стадии развития внутри ограниченных объемов, без интенсивной вентиляции. В открытом пространстве СОПТ не тушат даже возгорания, так как объемное тушение достигается снижением содержания кислорода ниже предела поддержания горения и выживаемости людей. Порошковые струи и непрозрачные облака сильно раздражают органы дыхания, обоняния, зрения, закрывают видимость, затрудняя эвакуацию людей, способствуя их гибели и травматизму от тяжелых ожогов. Поэтому СОПТ применяют только в небольших помещениях объемом в десятки кубических метров, где нет людей и не проходят пути их эвакуации.

Пенные и гидравлические пожарные машины тушат медленно, с большими удельными расходами воды различные пожары в тоннелях, в лесу на узких дорогах только с дистанции эффективного тушения 10–20 м и при подключении к мощному водопроводу или при регулярном подвозе десятков тонн воды. Сложно и дорого обеспечить пожаробезопасность тоннелей, особенно при интенсивно развивающихся пожарах аварийных разливов топлива, смазочных масел. Требуется регулярная модернизация техники тушения из-за постоянного увеличения интенсивности движения, объемов перевозимых пожаровзрывоопасных грузов, в первую очередь топливозаправщиков емкостью 10–20 м<sup>3</sup> и больше, наиболее опасных при авариях в железнодорожных и автомобильных, наземных и подводных тоннелях длиной 10–100 км и более. Службы эксплуатации таких тоннелей, метро, шахт, ангаров, обеспечения бесперебойной доставки топлива, боеприпасов в прифронтной полосе ждут от разработчиков пожарной, традиционной техники решения несовместимых в технике струйной подачи огнетушащих составов (ОС) задач: повысить качество тушения, снизить удельные расходы ОС и стоимость изготовления, монтажа и эксплуатации в условиях тушения в тоннелях огнетушителей и различных модулей – стационарных, на колесных и гусеничных шасси.

Основными показателями тоннельной стационарной системы модулей тушения является эффективность, дальность, надежность и стабильность тушения. Традиционные системы тушения пожаров в тоннеле – дороги, сложны, множество узлов и деталей снижают их надежность, опасны в эксплуатации и техническом обслуживании из-за длительного нахождения под высоким давлением. От таких систем отказаться сложно, длинные сухотрубы заполняются долго, не предотвращая развитие возгораний в разрушительные, быстро распространяющиеся пожары, перед которыми эти системы бессильны. Дорого, часто невозможно оснастить тоннели по всей их длине стационарными системами пожаротушения. Поэтому для тушения возгораний топлив применяют только огнетушители, эффективные в период до 15–30 мин от начала возгорания. В длинных тоннелях невозможно быстро обеспечить прибытие охранника для тушения с принесенным с собой 2–5-литровым огнетушителем и 10-литровым огнетушителями, развешанными по стенам тоннеля. После окончания данного короткого периода возможно тушить только длительной подачей воды ручными и стационарными стволами с большими удельными расходами. На стадиях возгораний или локальных пожаров огнетушителями потушено лишь 10,2 % случаев пожаров в тоннелях [1, 2]. Средняя длительность тушения пожаров в начальной стадии развития 60–80 мин. Как правило, пожар тушат шахтеры до прибытия пожарных и спасателей. Огнетушители в 30 % тушений успевают усилить подачей воды через шланги (рукава) с ручными стволами из пожарно-оросительного трубопровода, проложенного по всей длине тоннеля – это ускоряет тушение и снижает вероятность повторных воспламенений.

Анализ аварийности в тоннелях, шахтах за 20 лет показал, что струйная пожарная техника тушит до 60 % от общего числа пожаров за период от 20 ч до нескольких дней, необходимых, чтобы пожарные машины добрались до пожара сквозь автомобильные или железнодорожные заторы, постепенно разбираемые тягачами, и пожарные смогли использовать имеющийся запас рукавов для прокладки рукавной линии к позиции тушения. Возимого запаса ОС на автомобилях не хватает на тушение развитого пожара [3, 4].

### **Проблемы эффективного тушения пожаров в тоннелях**

Тушение развитых пожаров в шахтах требует техники дистанционного тушения от 100 м и выше вследствие затрудненности подхода к очагу из-за мощных встречных потоков дыма, раскаленного воздуха, внезапных выбросов пламени. При пожаре на открытом пространстве более 90 % дыма и тепловых потоков уходит вверх, при пожаре в шахте до 50 % поражающих факторов устремляются навстречу пожарным. Для защиты пожарных, работающих с лафетными стволами на позиции тушения, необходим тонкий распыл огнетушащих агентов (ОА) по всему

сечению штрека, тоннеля для создания теплосветозащитного слоя толщиной не менее 5–10 м. Радиус эффективного тушения подачи воды и растворов компактными струями не выше  $R=30\text{--}40$  м, тонкораспыленными струями – до 5–10 м. Реально воду и пену подают с дальних дистанций, позволяющих работать при допустимых значениях поражающего теплового фактора, и вся масса огнетушащей жидкости стекает по полу шахты, практически не воздействуя на горящую массу угля и оборудование в забое или горящий вагон в тоннеле метро.

Поэтому подземное тушение длится днями, неделями, месяцами с постоянным риском для жизни работающих горноспасателей и пожарных. Для изменения этого положения необходима техника, обеспечивающая эффективное тушение тонкораспыленной водой с дальней, безопасной дистанции, при условии горизонтальной подачи струй. Многочисленные модернизации исчерпали резервы гидравлической, пневматической и газовой пожарной техники, включая их последние импульсные версии. Эффект от последних модернизаций мал и не оправдывает затрат на них, улучшения параметров тушения измеряются несколькими процентами, а стоимость модернизированной системы возрастает на десятки процентов и более. Поэтому в настоящее время защита тоннелей требует принципиально новых решений [1, 5].

### Имеющиеся научные разработки

Автором В.Д. Захматовым выполнены исследования в рамках пятилетней научно-исследовательской работы в Отделении геодинамики взрыва Института геофизики АН УССР:

1. Тушение эндогенных пожаров и предотвращение взрывов угольной пыли в шахтах Донецко-Луганского бассейна и г. Караганды. В 1983 г. изготовлен экспериментальный, многоствольный модуль (ММ) из восьми стволов (ММ-8) на полозьях, испытан на полигоне Гражданской обороны (ГО) СССР, г. Конча-Заспа, Киевской обл., и успешно показан на всесоюзных учениях ГО СССР в сентябре 1983 г.

2. В середине мая 1986 г. экспериментальный ММ-9 на шасси двухосного лафета был в аварийном порядке спроектирован, изготовлен на опытном производстве Института технической теплофизики АН УССР и испытан на полигоне полка ГО в пригороде г. Киева Конча-Заспа. За день по результатам испытаний была скорректирована конструкторско-технологическая документация (КТД), и на ремонтном заводе «Арсенал-2» Министерства обороны СССР за две недели была выпущена, прошла заводские испытания опытно-промышленная партия 30 лафетных ММ-9 и незамедлительно отправлена в зону г. Чернобыля. ММ-9 успешно применялись в зоне Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) как стационарные, дистанционно управляемые пожарные, исполнительные модули, быстро монтируемые на особо опасных радиоактивных участках: трансформаторная станция близ четвертого блока, зал третьего блока с разлитым трансформаторным маслом и др.

3. В период 1995–2013 гг. разработан профи-огнетушитель дальнобойный универсального распыла выстрелом, производство сертифицировано на ГКБ «Луч», КТД передана на завод Горноспасательного оборудования им. Петровского (г. Донецк), где конструкция и распылительные патроны модернизированы под условия применения в угольных шахтах, и летом 2013 г. демонстрировалась на выставке «Уголь Украины – 2013». Получены заказы, выполнению которых помешала гражданская война. Выпущенная опытно-промышленная партия успешно применялась при тушении пожаров от обстрелов в г. Донецке и в тоннелях аэропорта для решения специальных задач.

4. В 1982–1983 гг. в Штабе горноспасательных частей Урала, Минцветмет (г. Екатеринбург) спроектирована ММ-8 на тележке шахтной вагонетки для дистанционного тушения пожаров в штреках. Результаты испытаний показали, что при залпе из всех стволов распыляется 120 кг инертной пыли и создается газопылевой вихрь с широким фронтом по всему сечению штрека, установлена дистанция эффективного тушения не менее 150–175 м в тоннеле.

Промышленное производство шахтных модулей дистанционного тушения и предотвращения взрывов при Штабе продолжалось до распада СССР.

5. В 1989–1991 гг. успешно проведена научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа с 9-ГУ КГБ СССР по созданию экологически чистых систем тушения для кабельных тоннелей подземных правительственных сооружений. Тема закончилась успешным демонстрационным испытанием системы на опытном участке подземного сооружения в присутствии представительной комиссии.

Высокие огнетушащие характеристики: дальность, масштаб и эффективность систем импульсного тушения выстрелами и залпами объясняются новым ударно-волновым механизмом распыления с созданием огнетушащих газокапельного шквала или газопылевого (порошкового) вихря с широкими фронтами. Они играют основную роль в тушении – быстро скользят по большой площади и тушат за счет ударного разрушения горящего поверхностного слоя, проникающего напыления огнетушащих частиц в зону горения, высоких скорости, концентрации и микrorазмеров частиц ОС во фронте. Такое тушение осуществляется быстро с минимальными, удельными расходами ОС, близких к теоретически необходимым. Импульсные, ударно-волновые системы дистанционной подачи ОА потенциально превосходят все иные системы тушения пожаров по качеству создания локализирующих струй и потоков – их размерам, кинетической энергии, направленности действия и степени диспергирования распыляемого ОС.

Фактически создаются направленные газопорошковые вихри и газокапельные шквалы, имитирующие природные и превосходящие по кинетической энергии пламя и потоки дыма. Это, в свою очередь, определяет эффективность и масштабы тушения. В основном эффективность тушения определяется процессом движения фронта шквала (вихря), его плотностью, размерами, скоростью и углом встречи с горячей поверхностью и не связана с длительным процессом равномерного, постепенного распределения ОА по горячей площади при подаче ОА узкими струями. При импульсном тушении важно, что масштаб площади огнетушащего фронта газокапельного шквала (газопорошкового вихря) имеет один порядок с горячей площадью. Именно такое соотношение масштабов тушения и горения впервые позволяет определить достаточно точно основные параметры тушения: период и расход ОА, в зависимости от того какое число шквалов (вихрей) надо, чтобы их фронты последовательно перекрыли всю горящую площадь.

Соотношение скоростей полного перекрытия и повторного возгорания показывает дополнительное число шквалов для ликвидации повторного возгорания. Если тушение всей горячей площади осуществляется серией залпов с секундными интервалами, влиянием повторного воспламенения можно пренебречь. Необходимо отметить, что при струйном, длительном тушении влияние повторного воспламенения в десятки и сотни раз увеличивает удельные расходы ОА до такой степени, что приносимый ими ущерб (например, порча технологического оборудования и материалов) становится сравнимым с ущербом от пожара. Особенно велик ущерб от тушения при использовании токсичных ОА.

Технология импульсного распыления ОА связана с устойчивостью, повторяющегося от залпа к залпу процесса формирования широких фронтов шквалов (вихрей), релаксацией ударных волн при ускорении ОА, частичным испарением капель и сгоранием частиц ОА в высокоскоростных потоках раскаленного газа, направленностью распыления ОА из различных распылительных устройств, например стволов в одном залпе [3, 5].

### **История создания импульсной техники тушения**

С конца 40-х гг. XX в. активно разрабатываются методы тушения пожаров при помощи ракет, снарядов, авиабомб, снаряженных ОА вместо заряда взрывчатого вещества (ВВ). Однако такие огнетушащие боеприпасы были малоэффективны для тушения реальных

пожаров и их применение сопровождалось большими площадями разрушающего и поражающего воздействий. Поэтому с середины 1960-х гг. разрабатывались специальные пневматические и пиротехнические устройства струйного импульсного распыления, где применялся медленно горящий порох или минизаряды твердого ракетного топлива для замены газового баллона высокого давления и взрывные устройства сферического и полусферического распыления взрывом. С 1979 г. автором В.Д. Захматовым для тушения пожаров, не выполнимого для существующей пожарной техники, предлагался и успешно реализовывался ряд нетрадиционных технических решений. На основе их системного анализа обоснованно вступило в практическое действие новое научное направление – создание оригинальных ствольных систем и огнетушащих боеприпасов к ним: унитарных и раздельно-гильзовых. Началось внедрение боеприпасного подхода в импульсном тушении – распыл выстрелом, залпом и направленным взрывом. По мере поступления практических заказов развилось три основных направления (рис. 1):

1. Ствольные и многоствольные огнетушители.

2. ММ стационарные и возимые на шасси танков, САУ, автомобилей бронированных грузовых и джипов.

3. Тушащие авиационные контейнеры, прицельно сбрасываемые с самолетов, вертолетов, и подвесные для вертолетов и кранов. Последние созданы 1–2 мая 1986 г. в зоне г. Чернобыля для решения уникальной задачи безлюдного тушения самого опасного и масштабного радиоактивного пятна в зоне – «Рыжий Лес» – 11–12 га густого сосняка с уровнем радиации до 2 500 рентген/ч. Первая промышленная партия произведена в июле 1986 г. на п/я В-8379 и испытана перед транспортировкой в г. Чернобыле на п/я Г-4162.



1

2

Рис. 1. 1 – Ствольный пневмоимпульсный модуль на салазках;  
2 – Многоствольные пиротехнические модули на салазках и лафете, впервые способны создавать масштабно, эффективно и быстротушащие газочапельные шквалы, газопорошковые вихри, газопесчаные смерчи

Такие системы пожаротушения также получили название импульсно-вихревых или ударно-волновых [3]. По мощности [3, 5] и эффективности пожаротушения они потенциально многократно превосходят наиболее совершенные образцы традиционных пневматических и гидравлических пожарных машин. Пожарные ММ на шасси шахтной вагонетки применялись в шахтах Минцвммета (г. Свердловск) и Минуглепрома (г. Караганда); в 1988 г. ММ применялись для тушения куста горящих скважин на морской нефтедобывающей платформе на Нефтяных Камнях (Каспийское море); с 1984 г. ММ применялись при тушении пожаров на артиллерийских складах; с 1985 г. мини-ММ и взрывные распылители, стационарно размещаемые, применялись для тушения возгораний на технологических линиях производства взрывчатых веществ (ВВ) и снаряжения боеприпасов.

**Сравнение пожарных машин, установленных на колесном и гусеничном военном шасси**

Виды =>// Параметры	Гидравлика традиционные // Импульсная пневматика							Холостой патрон		
	ГПМ-54 Укр-РФ	SPOT-55 Чехия	МТЛБ Укр	Т-119 Китай	5-ствол. Укр	IFEX-Леопард-1 Германия	5-ствол. Т-55 РФ	Ветлуга Россия	Импульс/ММ-9 Китай	ММ-8 / ММ-16 на Шахтной вагонетке
$M_{общ}$ , т	43	42,5	40	18	31	45	43	25	36/21,6	1,5/1,9
$L_{туш}$ , м	15–20	50	15–20	35	30	45	40	50	120/200	150/250 в тоннеле
$V_{подачи}$ , кг/с	40	2x70	40	60	20	20	20	30	200/0,1 с	120/240 за 0,1 с
$S_{туш}$ , м <sup>2</sup>	180–200	300–400	200–250	150	350	1 500	1 500	250–300	4 500–3 000	1 200/2 500
$M_{вода}$ , т	10 бак	12 башня	10	5	9	10	10	330	1 000–1 250	120/240
Распыляемый состав	Вода макрокапли	Порошок	Порошок	Порошок	Порошок	Порошок	Вода микрокапли	Вода микрокапли	Вода, раствор, гель микро-нано-капли	Вода, раствор, гель микро-нано-капли
$T_{перез}$ , мин	60	60	25	25	200	35	30	25	25/3	2,5/5
Цена, тыс. долл.	110	390	145	120	350	1 200	250	200	100/200	
Тактико-технические характеристики	Аналоги гражданских поливочных машин: громоздки, тяжелы, маломаневренны, низкоэффективны для масштабного микрораспыла, сложны в управлении, мало автономны из-за больших удельных расходов огнетушащих агентов, низкой дальности распыла, отсутствия систем защиты экипажа с целью увеличить возимый запас воды. Дороги в производстве и работе. Ремонтируются только специалистами от фирмы-изготовителя							Маломощный залп 2 ствола, малый радиус площади тушения	Микрораспыл дальний, масштабный, автономная длительная работа в зонах катастроф, маневренное шасси, системы химической, радиационной бактериологической защиты экипажа	

*Примечание:* ОС – огнетушащий состав; ОПС – порошковый ОС; М – масса;  $V_{туш}$ ,  $L_{туш}$ ,  $S_{туш}$  – скорость, дальность, площадь тушения;  $V_{перезар}$  – время перезарядки

Более совершенной является гусеничная пожарная машина (ГПМ) «Импульс-3» с башенным 50-ствольным модулем на шасси танка Т-62, в каждом стволе которой размещены распылительные заряды с электроинициаторами, не более 20 кг ОА, зависимо от его параметров: плотности, влажности, заряжания в канал ствола в контейнерах – жидкие, вязкие, порошковые или непосредственная загрузка песка, грунта в канал ствола с фиксацией загруженной массы пыжами с обеих сторон. «Импульс-3М» создана по заданию Главного ракетно-артиллерийского управления (ГРАУ) МО СССР для дистанционного (с относительно безопасных расстояний до 100 м) тушения горящих штабелей боеприпасов. Шасси мало изменено: убраны боеукладки, увеличен свободный объем обитаемого отделения, ускорена эвакуация экипажа, сохранены фильтры очистки воздуха от токсичных и радиоактивных пылей, аэрозолей и броня, защищающая от снарядов, обрушений и крупных осколков. Замена башни с орудием на ММ облегчило шасси на 3–5 т, повысило скорость и маневренность «Импульс-3М», позволило навесить теплоотражательные экраны, импульсные распылители внешнего охлаждения, внутренней пожаровзрывозащиты обитаемого и моторного отделений. Стволы многоствольной установки могут заряжаться различными ОС: жидкостями, растворами, гелями, порошками и сыпучими материалами, что впервые позволит машине комбинированно, эффективно тушить и ликвидировать последствия аварий.

С 1992–1994 гг. на практике применяется «Импульс-3» (рис. 2), 15 гусеничных бронированных пожарных машин (ГПБМ) успешно эксплуатировались 20–25 лет на атомных электростанциях (АЭС г. Чернобыля, г. Балаково), нефтегазовых и химических объектах на территориях России: Башкортостан, Сызрань НПЗ, АЭС г. Балаково, г. Якутск, Тюменский край, г. Норильск; Украины: зона Чернобыльской АЭС, г. Черкассы, г. Полтава, г. Чернигов и Йемена [4]. Эксперименты с ММ на шахтных вагонетках и лафетах проводились на экспериментальных штреках угольных шахт Донецкого и Карагандинского бассейнов, шахтах цветных металлов Урала, участках тоннелей автомобильных, кабельных, метро, аварийном четвертом блоке объекта «Укрытие» (г. Чернобыль). Локализация и осаждение облаков радиоактивной пыли осуществлялась шквалами тонкораспыленной воды, а локализация осажженной радиоактивной пыли на различных поверхностях проводилась шквалами нефтяной бурды – отходов нефтепродуктов (топлив) с конца мая 1986 г. в Чернобыльской зоне экспериментально, а затем в рамках программы по дезактивации территорий Чернобыльской зоны. Такая технология даже при ограниченном применении спасла множество ликвидаторов Чернобыльской зоны от попадания микрочастиц трансурановых элементов – стронция, цезия, радия, урана, разносимых этой пылью. В 2000–2001 гг. проведены эксперименты по распылу с крыши объекта «Укрытие» инертной пыли и ее осаждение шквалами, создаваемыми двумя «Импульс-3М». Экспериментально определены оптимальные режимы распыла воды, растворов пенообразователей, гелей, порошков для создания газочапельных шквалов, газопорошковых вихрей и газопесчаных смерчей с широкими фронтами. Определен оптимальный диапазон массовых соотношений распылительного, порохового заряда и распыляемого огнетушащего и локализующего агента, позволяющий достичь наибольших величин дальности метания и площади сплошного распыла и, соответственно, дальности и площади тушения горящих разливов топлив и объема осаждения дыма от этих пожаров [4, 5].

Площадь тушения равна площади распространения фронта шквала газочапельного – каплевидные площади сплошного, эффективного тушения до 500–1 500 м<sup>2</sup> за 1–2 с. Вторая причина высокоэффективного тушения – большая кинетическая энергия и мультивихревая структура фронта потока, обеспечивающая прямое воздействие и проникающее напыление огнетушащего агента в конденсированную зону горения, являющуюся энергетической основой процесса горения. Равномерное напыление множества частиц обеспечивает комбинированное тушение, сочетающее: ударное разрушение структуры высокотемпературной зоны горения, отделение горящих частиц друг от друга огнетушащими частицами, интенсивно охлаждающими горящие частицы, что практически гарантирует отсутствие повторных возгораний, даже от примыкающей соседней горячей площади. Очень важно, что такое эффективное тушение

обеспечивается очень низким удельным расходом ОА –  $M_{уд}=0,25-0,5$  кг/м<sup>2</sup>, на 1,5–3 порядка ниже по сравнению со средними удельными расходами  $M_{уд}=10-100$  кг/м<sup>2</sup> лучших образцов пожарной техники. Лафетные стволы, используемые в шахтах, обеспечивают расходы более тонны воды на кв. м из-за того, что они не могут обеспечить прямое воздействие огнетушащей струи на обугленную зону горения. Поэтому ММ в условиях подземных тоннелей, штреков, впервые создавая масштабные шквалы (вихри) с мощным фронтом, обладает уникальной возможностью с дальней безопасной дистанции осуществить прямое распыление для комплексного тушения:

1. Сбитие пламени – снижения радиуса теплового поражающего воздействия.
2. Осаждение дыма – снижения радиуса токсичного воздействия.
3. Разрушение структуры и охлаждения конденсированной зоны горения [1, 6].



Рис. 2. 1 – ГБПМ «Импульс-3М» с башенной ММ-50, эскизы ММ на работе и железнодорожной платформе; 2 – Немецкая пневмоимпульсная ММ-2 на шасси танка «Леопард-1» содержит также 10-тонную цистерну с водой, компрессор высокого давления

ММ в шахтах предназначен для быстрой и эффективной ликвидации следующих ЧС в шахтах:

1. Быстрого тушения, масштабного и дистанционного различных пожаров в шахтах, тоннелях, шахтах ракет и вспомогательных помещений, также других подземных сооружений.
2. Обеспечение эвакуации шахтеров, пассажиров вагонов метро и персонала подземных сооружений.
3. Локализация внезапных выбросов взрывоопасных газов в шахтах.
4. Предотвращение и локализация объемных взрывов газовоздушных и пылевоздушных сред.
5. Локализация, осаждение и дезактивация токсичных облаков и дымовых завес.
6. Локализация угольной пыли путем осаждения облаков и фиксации слоя пыли на различных поверхностях с помощью создания адсорбционных пленок, плотно прилегающих к этим поверхностям [2, 7].

Если запас унитарных контейнеров, содержащих ОС и распылительные патроны, закончился, то есть еще компактные, распылительные патроны – до 500 в боеукладках на 10 перезарядок стволов, заряжаемых после вставления патроном с казенной части ствола, а с дульного среза канал ствола заряжается подручными материалами – грунтом, грязью, песком, водой, включая мутную, пылью, снегом, льдом и др.

Впервые пожарная машина обеспечивает гибко регулируемое по масштабам, дальности и виду тушение, распыляя последовательно различные огнетушащие и защитные составы: жидкие, вязкие, клейкие, гели, порошки и экологически чистые природные материалы. Дополнительно, по желанию заказчика, шасси и установка окрашиваются теплоотражающей, светлой окраской и оснащаются светотеплозащитными экранами. Учитывая опыт гибели машин ГПМ-54 с экипажами при тушении горящих штабелей боеприпасов, новая ГБПМ «Импульс-3» может иметь на внешней броне компактные,

автономные, импульсные распылители воды, гелей, мгновенно создающие пенообразный, теплопоглощающий слой на кузове (броне) машины [1, 8].

Залповое распыление более чем из двух стволов реализовано впервые в мире и реально позволяет моделировать: природные пылевые и песчаные бури с помощью газопылевых и газопесчаных, направленных вихрей; морские шквалы с помощью газожидкостных шквалов, также снежные метели, моделируя снежные направленные заряды. Эти натурные модели отличаются гибко регулируемыми параметрами: кинетическая энергия, ширина и высота фронта вихря, малое время подготовки и осуществления масштабного, мощного тушения; комбинированное тушение с регулируемыми интервалами между подачей различных ОС. Это позволяет высокоточно сбить и потушить интенсивное, мощное пламя сразу на большой площади и с минимальными удельными расходами ОС. Обеспечивается тушение поджогов и масштабных пожаров, в том числе созданных массовым применением зажигательных боеприпасов и огнеметов; предотвращение и локализация объемных взрывов пыле-паро-капельно-газовых облаков, мгновенная постановка светотеплозащитных экранов и маскировочных завес; локализация и дезактивация токсичных выбросов, облаков, осадков; локализация радиоактивной пыли в облаках и осаждаемой на различных поверхностях; локализация и утилизация разливов нефти на воде и побережье (рис. 3).

Залповое распыление многократно снижает отдачу по сравнению с распылением такой же массы из одного ствола, например, при распылении 200 кг огнетушащего порошка (ОП) залпом из 10-стволов «Импульс-3М» по сравнению с распылением 200 кг из одного ствола пневмоимпульсного, одноствольного модуля на салазках, внедренного еще в 80-е гг. в Газпром и широко применяющегося до настоящего времени в отрядах по ликвидации горящих, газовых скважин. При этом дальность распыления при залповом выбросе ОП в 5–6 раз выше – до 100–120 м по сравнению с 20 м из одного ствола. По сравнению с пятитонной порошковой машиной ОП-5 залп из 10 стволов «Импульс-3М» тушит примерно такую же площадь до 1 000 м<sup>2</sup>, следовательно, при залповой импульсной подаче коэффициент полезного действия ОП возрастает в 25 раз [9, 10].

Натурный эксперимент проводился на одноствольных и многоствольных импульсных системах. Контейнеры для метаемых составов объемом 18 л снаряжались порошком марки «ПСБ» с размерами частиц 20–50 мкм, мокрым песком или водой. Контейнеры выполнены из твердой, но хрупкой пластмассы. Они легко разрушаются ударной волной на малые осколки, не обладающие поражающим воздействием и вылетающие за срез ствола не далее 10 м. Метательные заряды изготавливали из дымного пороха марки ДРП-1. Ставилась задача исследовать параметры облака частиц после того, как частицы покинули канал, найти оптимальные условия для обеспечения максимальной дальнобойности системы и площади тушения пожара. Была показана высокая дальнобойность пламегасящей струи и площади тушения пожара при массе метаемого порошка 200 кг и метательного заряда пороха по 0,75 кг в каждом стволе.

Известные пневматические импульсные модули, изготовленные «IFEX-3000», Германия; «TSIS», США – дороги, громоздки, тяжелы, сложны в работе и ремонте, распыляют только воду не далее 20–30 м, поэтому не могут обеспечить надежное и эффективное тушение, осаждение густого дыма и нейтрализацию его токсичности [11].

Компактные ММ могут быть помещены в различные промышленные химические, нефтеперерабатывающие заводы, насосные станции, морские платформы нефтяных скважин, резервуары для нефти и жидкого газа, нефтяные терминалы морских портов, нефтегазовые установки, нефтегазовые насосные станции, машиностроительные заводы на атомных электростанциях. Достоинства данных ММ:

- быстрая подзарядка, простое техническое обслуживание, отсутствие необходимости в высококвалифицированном обслуживании;
- дешевое производство на гражданских заводах, широкий диапазон элементов для сборки.

## Заключение

ММ ударно-волнового, залпового, дальнего, масштабного распыла и тушения близки по конструкции, способу перезарядки и распыла ОС залпами к оружию, поэтому солдаты могут быстро освоить данный вид техники и эффективно применять. Модули в три – пять раз превышают существующую технику по дальности, масштабу, скорости тушения, стабильности и автономности масштабного тушения; компактность позволяет разместить модули на бронированных, гусеничных и колесных шасси, железнодорожных платформах, дрезинах, роботах – тушащих быстро с дальних дистанций. Гусеничные машины с ММ и бульдозерными ножами могут сразу после тушения и предотвращения взрыва неподвижной машины столкнуть ее с дороги и расчистить проезд для колонны. Роботы одногусеничные с ММ и шириной гусеницы до 600 мм устойчивы при распылении залпом, создающим далеко и масштабно тушащий шквал, вихрь, способны проехать к горящей машине по пешеходной дорожке, минуя автомобильную пробку в тоннеле, узкой тропе в лесу на позицию эффективного тушения пожара. Безоткатные ММ могут монтироваться на тельферах под потолком тоннеля, БПЛА, способных пролететь по тоннелю или над узкой дорогой. Новая техника впервые может прибыть к горящему участку тоннеля, узкой дороге в лесу и эффективно потушить пожар. Поэтому эта технология необходима для защиты подземных тоннелей, особенно многокилометровых, колонн техники на узких дорогах.

### Список источников

1. Shcherback M.V., Bondar O.I. New technology of pulse forest fire-fighting // Экологични науки. 2015. № 9. P. 68–79.
2. Скакун П.П., Крупышев М.А. Усиление систем защиты АЭС и других аварийно опасных объектов на территории России // Технические средства противодействия террористическим и криминальным взрывам: XI Междунар. науч.-практ. конф. 2015. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2015.
3. Комбинированный способ локализации и тушения ползучих лесных и луговых пожаров: пат. 2458716 Рос. Федерация / Гришин А.М., Зима В.П.; заявл. 21.03.11; опубл. 20.08.12. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2458716C1/en> (дата обращения: 25.02.2023).
4. Ventsel A., Parna A. Torud, pommid ja labidad – plahvatuslik tuletojetehnoloogia. Tallinn, Estonia: Inseneeria, 2016. P. 14–20.
5. Актуальные проблемы навигации на очаг пожара пожарных роботизированных стволов в установках пожаротушения. Часть 1. Предпосылки создания РУП и специфические особенности тушения пожаров ПРС / Л.М. Мешман [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28. № 3. С. 70–81.
6. Unsettled issues in science and technology domains related to prospective variable-autonomy swarming helicopter robotics for wildland fire management // SAE International Inc., USA. SAE EDGETM Research Reports. 2020.
7. Способ превентивного пожаротушения с последующим подавлением условий для воспламенения топливовоздушных смесей и имеющейся пожарной нагрузки от вторичных источников зажигания: пат. 2783960 Рос. Федерация / Булатов В.О., Чернышов М.В.; заявл. 16.03.21; опубл. 22.11.22, Бюл. № 18.
8. Многоствольный модуль универсального распыления залпом или выстрелами: пат. 2 726 100 Рос. Федерация / Захматов В.Д., Щербак Н.В., Озеров А.В.; заявл. 16.09.19; опубл. 09.07.20. URL: [yandex.ru/patents/doc/RU2726100C1\\_20200709](https://yandex.ru/patents/doc/RU2726100C1_20200709) (дата обращения: 19.12.2022).
9. Способ точного, масштабного тушения пожаров стаями беспилотных летательных аппаратов, создающих мультишквалы, вихри, смерчи: пат. 2 780 170 Рос. Федерация / Захматов В.Д., Щербак Н.В., Чернышов М.В.; заявл. 26.03.21; опубл. 20.09.22, Бюл. № 10.

10. Глобальные вызовы, угрозы и опасности современности. Приоритеты политики обеспечения национальной безопасности России / под общ. ред. А.В. Возженникова. 2-е изд. М.: Изд-во РАГС, 2014. 242 с.

11. Захматов В.Д., Панкратова М.В. Модернизация пожарного поезда на основе новых технологий тушения разливов нефти и нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 28–35.

### References

1. Shcherback M.V., Bondar O.I. New technology of pulse forest fire-fighting // *Ekologichni nauki*. 2015. № 9. P. 68–79.

2. Skakun P.P., Krupyshev M.A. Usilenie sistem zashchity AES i drugih avarijno opasnykh ob"ektov na territorii Rossii // *Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terroristicheskim i kriminal'nym vzryvam: XI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* 2015. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2015.

3. Kombinirovannyj sposob lokalizacii i tusheniya polzuchih lesnyh i lugovyh pozharov: pat. 2458716 Ros. Federaciya / Grishin A.M., Zima V.P.; zayavl. 21.03.11; opubl. 20.08.12. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2458716C1/en> (data obrashcheniya: 25.02.20230).

4. Ventsel A., Parna A. Torud, pommid ja labidad – plahvatuslik tuletojetehnoloogia. Tallinn, Estonia: Inseneeria, 2016. P. 14–20.

5. Aktual'nye problemy navigacii na ochag pozhara pozharnyh robotizirovannyh stvolov v ustanovkah pozharotushenniya. Chast' 1. Predposylki sozdaniya RUP i specificheskie osobennosti tusheniya pozharov PRS / L.M. Meshman [i dr.] // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2019. T. 28. № 3. S. 70–81.

6. Unsettled issues in science and technology domains related to prospective variable-autonomy swarming helicopter robotics for wildland fire management // *SAE International Inc., USA. SAE EDGETM Research Reports*. 2020.

7. Sposob preventivnogo pozharotusheniya s posleduyushchim podavleniem uslovij dlya vosplamneniya toplivovozdushnyh smesey i imeyushchejsya pozharnoj nagruzki ot vtorichnyh istochnikov zazhiganiya: pat. 2783960 Ros. Federaciya / Bulatov V.O., Chernyshov M.V.; zayavl. 16.03.21; opubl. 22.11.22, Byul. № 18.

8. Mnogostvol'nyj modul' universal'nogo raspyleniya zalpom ili vystrelami: pat. 2 726 100 Ros. Federaciya / Zahmatov V.D., Shcherbak N.V., Ozerov A.V.; zayavl. 16.09.19; opubl. 09.07.20. URL: [yandex.ru/patents/doc/RU2726100C1\\_20200709](http://yandex.ru/patents/doc/RU2726100C1_20200709) (data obrashcheniya: 19.12.2022).

9. Sposob tochnogo, masshtabnogo tusheniya pozharov stayami bespilotnyh letatel'nyh apparatov, sozdayushchih mul'tishkvaly, vihri, smerchi: pat. 2 780 170 Ros. Federaciya / Zahmatov V.D., Shcherbak N.V., Chernyshov M.V.; zayavl. 26.03.21; opubl. 20.09.22, Byul. № 10.

10. Global'nye vyzovy, ugrozy i opasnosti sovremennosti. Prioritety politiki obespecheniya nacional'noj bezopasnosti Rossii / pod obshch. red. A.V. Vozzhennikova. 2-е изд. М.: Изд-во РАГС, 2014. 242 с.

11. Zahmatov V.D., Pankratova M.V. Modernizaciya pozharnogo poezda na osnove novyh tekhnologij tusheniya razlivov nefiti i nefteproduktov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2022. № 1 (61). S. 28–35.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 27.03.2023; одобрена после рецензирования: 18.04.2023;  
принята к публикации: 20.04.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 27.03.2023; approved after review: 18.04.2023;  
accepted for publication: 20.04.2023

*Информация об авторах:*

**Захматов Владимир Дмитриевич**, старший научный сотрудник отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: zet.pulse@gmail.com

**Крутолапов Александр Сергеевич**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: krutolapov75@list.ru

**Минкин Денис Юрьевич**, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149); директор СПб ГУП «Горэлектротранс» (196105, Санкт-Петербург, Сызранская ул., д. 15), доктор технических наук, профессор, e-mail: dunkel@mail.ru

*Information about the authors:*

**Zakhmatov Vladimir D.**, senior researcher at the department of planning, organization and coordination of scientific research at the center for the organization of research and editorial activities of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), professor, doctor of technical sciences, e-mail: zet.pulse@gmail.com

**Krutolapov Alexander S.**, professor of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: krutolapov75@list.ru

**Minkin Denis Yu.**, professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149); director of the Saint-Petersburg state unitary enterprise «Gorelektrotrans» (196105, Saint-Petersburg, Syzranskaya str., 15), doctor of technical sciences, professor, e-mail: dunkel@mail.ru