

**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 научно-организационного отдела, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: stursenev@ya.ru)

**М. В. ЧЕРНЫШОВ**, д-р техн. наук, профессор кафедры "Плазмогазо-динамика 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. А. АДАЕВ**, ООО "ПрогрессПожСервис" (Россия, 446100, Самарская обл., г. Чапаевск, ул. Чапаева, 10; e-mail: aladaev2006@yandex.ru)

**А. В. БЕКАСОВ**, ООО "ПрогрессПожСервис" (Россия, 446100, Самарская обл., г. Чапаевск, ул. Чапаева, 10; e-mail: albekasov@yandex.ru)

УДК 654.924.5

## НОВЫЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭВАКУАЦИИ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ

Показано, что новый мини-огнетушитель превосходит существующие огнетушители как в качественном отношении (обеспечивая возможность эвакуации и безопасного тушения горячей одежды на человеке), так и по своим характеристикам (эффективности, дальности, масштабу воздействия, степени безопасности). Обосновывается необходимость широкого внедрения уникальных компактных устройств осаждения дыма в практику обеспечения эвакуации из общественных зданий, в частности из торговых центров. Рассматривается распылитель новой конструкции, не имеющий ограничений для применения в общественных зданиях с массовым пребыванием людей. Даются описание и анализ экспериментов. Разработаны рекомендации по применению распылителя, обсуждается дальнейшее развитие его конструкции.

**Ключевые слова:** торгово-развлекательный комплекс; пожар; токсичный дым; эвакуация; импульсный огнетушитель; осаждение дыма; сбивание пламени; обеспечение путей эвакуации.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.05.61-69

### Введение

Актуальность рассматриваемой проблемы объясняется многочисленными фактами массовой гибели людей от токсичного дыма при пожарах на дискотеках, в торгово-развлекательных центрах (ТРЦ) и других общественных зданиях. В статье обосновывается необходимость широкого внедрения уникальных компактных устройств осаждения дыма в практику обеспечения эвакуации из общественных зданий, в частности из торговых центров. Необходимость разработки и производства таких устройств обусловлена отсутствием недорогих, компактных, долговечных технических средств, способных эффективно осажда́ть дым и сбивать пламя хотя бы на участке 5–10 м для обеспечения возможности эвакуации людей в безопасное место.

Анализируя уровень пожарного риска в ТРЦ, состояние техники, обеспечивающей их противопожарную защиту и эвакуацию из них, многие авторы

[1, 2] отмечают, что ее нынешнее состояние не соответствует уровню пожарной опасности ТРЦ. В России и во многих промышленно развитых странах многократно и с многочисленными жертвами возникали пожары в домах инвалидов, помещениях дискотек, больницах, ТРЦ и других аналогичных зданиях [2, 3]. Так, например, последний разрушительный пожар возник в самом большом торгово-развлекательном комплексе Германии "Европа-Паркинг" (май 2018 г.).

Основной особенностью развития пожара в ТРЦ является его обнаружение, когда пламя и дым уже быстро распространяются по помещениям в результате ненормативного применения легковоспламеняемых и сильногорючих отделочных, облицовочных материалов, выделяющих при пожаре густые клубы сильно ядовитого дыма [3, 4]. Дети и даже взрослые нередко не успевают покинуть помещения из-за быстро распространяющихся клубов дыма, что хо-

рошо видно на записях видеокамер наблюдения. По этой же причине и спасение их затруднено: пожарные, охранники, добровольцы, спасающие людей, сами могут внезапно потерять сознание.

В ТРЦ функционируют кинотеатры, фудкорты, супермакеты электроники, продовольственные магазины, боулинг, детский центр с аттракционами, отделения банков. При всем обилии современной техники, служащей интересам бизнеса, в ТРЦ часто не работают системы оповещения, которые отключают во избежание ложных срабатываний [2, 4]. Владельцы ТРЦ экономят на более совершенных датчиках, их дублировании и аналитических модулях, практически исключая ложную тревогу. Кроме того, часто не работают спринклерные и дренчерные системы орошения, закрываются эвакуационные выходы, что относится к грубым нарушениям правил техники безопасности со стороны администрации и охраны ТРЦ.

Типовые проекты дешево и быстро возводимых зданий торговых центров отличаются высокой пожароопасностью. Особенности их конструкций, материалы отделки, поролоновые маты в игровых зонах и другие аналогичные факторы способствуют быстрому распространению пламени и токсичного дыма, отрезающих пути эвакуации, что повышает вероятность гибели людей. Еще результаты расследования катастрофического пожара в торгово-развлекательном центре “Адмирал” (г. Казань, 2015 г.) красноречиво подтвердили выводы специалистов ООО “Colliers International”, строящего быстровозводимые здания: “Нельзя переделывать старые бетонные здания в новые с помощью быстровозводимых конструкций, тем более в масштабные ТРЦ — это нужно строго запретить. Однако таких зданий ТРЦ много, закрыть их нереально — какие же другие пути можно предложить?” [2].

В ТРЦ и других пожароопасных общественных местах со сложными протяженными путями эвакуации детям нельзя находиться без родителей. Как показала, например, трагедия в кемеровской “Зимней вишне”, на детских сеансах в кинотеатрах, представлениях в театрах и на дискотеках несовершеннолетние должны находиться под наблюдением квалифицированного персонала, в том числе охранников, обученных организации эвакуации и регулярно тренирующихся. Мы предлагаем оснастить охранные структуры эффективными компактными распылителями для осаждения и нейтрализации токсичного дыма, сбивания пламени в целях обеспечения безопасного пути эвакуации. Распылители удобны для ношения (например, на поясе) и могут храниться в шкафчиках (до нескольких десятков) под контролем охранников в игровых и зрительных залах, детских комнатах, а также на путях эвакуации в коридорах. Это необходимо даже в тех случа-

ях, когда инструкции по обеспечению безопасности безукоризненно соблюдаются: открыты все эвакуационные выходы, работают современные датчики, системы оповещения дублированы и оснащены аналитическими модулями против ложных срабатываний.

Таким образом, надежность и эффективность традиционных спринклерных систем в условиях помещений большой площади и объема, насыщенных быстрогорящими материалами с высокой интенсивностью дымообразования, со сложными и протяженными путями эвакуации, весьма низки. Пневматические, пневмоимпульсные и гидравлические стандартные средства тушения часто неработоспособны и практически бесполезны в руках необученных охранников, и тем более посетителей, не имеющих навыков работы с ними в условиях пожара. Для вывода людей из зоны пожара охранники должны иметь эффективные компактные средства осаждения дыма и сбивания пламени на путях эвакуации.

Цель настоящей статьи — обоснование необходимости широкого внедрения уникальных, компактных устройств осаждения дыма в практику обеспечения эвакуации из общественных зданий, в частности из торговых центров. В настоящей статье решаются следующие задачи: обоснование конструкции распылителя, не имеющего ограничений для применения в общественных зданиях с массовым пребыванием людей; выбор прототипа массового применения; описание и анализ проведенных экспериментов; разработка рекомендаций по применению распылителя и обоснование дальнейшего развития его конструкции.

#### **Обоснование нового метода и техники спасения**

Для реализации нового метода и соответствующей технологии спасения в условиях густой токсичной задымленности предлагается создать новое компактное импульсно-распылительное устройство. Оно должно быть предельно простым в обращении (на уровне новогодних хлопушек) и в то же время эффективным при сбивании пламени, осаждении оптически плотного дыма и нейтрализации токсичных продуктов горения. Распылители нового типа планируется сделать дешевыми и надежными (безотказными), способными распылять на дальние расстояния в виде локальных вихрей экологически чистые, нетоксичные огнетушащие агенты (например, гели, воду и растворы). Благодаря этому данные устройства, как и средства импульсного пожаротушения в целом, будут обладать широчайшим спектром практического применения [4–7].

Принцип действия таких устройств является качественно новым. Он состоит в создании газока-

пельного шквала со следующими основными особенностями: несущей газовой фазой; многвихревой структурой, устойчивой к разрушающему аэродинамическому воздействию; широким слабым ударным фронтом. Шквал с ударно-волновым фронтом [7–11], играющим роль фильтра частиц дыма микронных размеров, в зависимости от характерных размеров капель и расстояния между ними может быстро осадить дым по всей длине коридора и на краткий период времени создать проход для безопасной эвакуации. Нередко такой шквал способен потушить источник дыма в пористых, тканевых, твердых искусственных материалах или сбить пламя на пути эвакуации [12–17].

### Обоснование выбора конструкции распылителя и его прототипа из готовых изделий сигнально-спасательного назначения

Результаты анализа широкого диапазона различных изделий показывают, что наилучшим прототипом компактного дымоосадителя — мини-огнетушителя являются сигнальные ракеты вследствие целого ряда причин:

1) простота устройства и приведения в действие. Пожаротушащее устройство приводится в действие минимальным количеством простых движений: достать, снять защитный колпачок, навести прицел на очаг пожара, дернуть за шнур пускового устройства. Эти движения единственно возможны при обращении с данным устройством, не требуют длительных навыков и тренировок для правильного прицеливания и инициирования распылительного выстрела [18–20]. Кроме того, алгоритм движений знаком практически всем с детства по обращению с новогодними хлопушками;

2) отсутствие необходимости сервисного обслуживания или его минимизация;

3) возможность долговременного хранения (до 10–15 лет) в широком диапазоне температур (от минус 50 до +60 °С) и других природных условий;

4) стабильность действия в данном диапазоне температур и природных условий;

5) современная криминальная обстановка в Европе, которая диктует необходимость использования для защиты компактного, постоянно носимого устройства самозащиты. Это особенно актуально для молодых женщин, девушек, подростков, подвергающихся нападениям криминальных элементов.

Существует множество типов ракет, предназначенных для аварийной сигнализации, передачи информации, освещения и других целей. Туристы, альпинисты и другие путешественники чаще всего используют ракеты в качестве аварийного сигнального средства.

При выборе базовой модели для создания надежных импульсных распылителей, осаждающих дым, следует предпочесть пиротехнические изделия, выполненные на заводах оборонного профиля со строгим контролем качества. К их числу относятся военные и штатные аварийные сигнальные ракеты и фальшфейеры промышленного изготовления. Такие “фейерверки” качественно более надежны и безопасны в обращении, чем собранные в полукустарных мастерских. Корпуса ракет предпочтительны не “бумажные”, а изготовленные, как минимум, из толстого прессованного картона или пластмассы с металлическими усилительными кольцами. Корпуса должны обладать максимальной твердостью и герметичностью. Все парашютные ракеты и другие пиротехнические сигнальные средства конструк-



Рис. 1. Мини-огнетушители вместимостью 0,4 л образца 2018 г. на стенде Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (а) и крупным планом (б), разработанные проф. В. Д. Захматовым (в)

Fig. 1. Mini-extinguisher 0.4 liter at “Little Boy”, made in 2018 year at the stand of the University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Measures of Russia (a) and mini-extinguisher 0.4 liter close-up (b), designed by prof. Vladimir Zakhmatov (v)

тивно подготовлены к выстрелу, поэтому обращаться с ними следует с соблюдением особой осторожности.

Опыт производства прототипов портативных пожаротушающих устройств показывает, что сборка распылителя выстрелом занимает существенно (в 2–3 раза) меньше времени по сравнению со сборкой сигнальной ракеты калибра 26 или 40 мм ввиду сокращения количества операций и сборочных элементов с 35 до 14. Многие детали сигнальной ракеты, не нужные для решения задачи борьбы с огнем и дымом, сложны конструктивно и дороги в производстве, поэтому себестоимость производства импульсного распылителя выстрелом снижается в 1,8–2 раза по сравнению с сигнальной ракетой. Опытно-промышленные образцы новых мини-распылителей — мини-огнетушителей показаны на рис. 1.

### Методика испытаний

Испытания новых устройств импульсного пожаротушения и осаждения продуктов горения проводились на открытой местности, а также в крупно-размерном ангаре для исключения влияния ветра. Процесс и результаты испытаний фиксировались видеосъемкой и визуально. Для имитации дыма применялись стандартные дымовые шашки, дающие густые клубы дыма. Для оценки дальности и эффективности тушения использовались стандартные модельные очаги А (сосновые плашки 40×40×400 мм, штабель плашек 400×400×400 мм) и нестандартные, созданные разлитием бензина на цементном или асфальтовом полу ангара.

Для приведения разработанного распылителя в действие необходимо совершить четыре простых последовательных действия: 1) выбрать позицию тушения на расстоянии не менее 1–2 м от очага пожара; 2) снять предохранительную крышку со среза ствола; 3) направить распылитель на очаг пожара таким образом, чтобы вихрь распыленного огнетушащего состава накрыл своим фронтом сразу всю площадь возгорания или ее часть (до 1 м<sup>2</sup> горячей поверхности без учета неровностей — выемок и впадин); 4) резко выдернуть вытяжной шнур, прикрепленный к проволочной терке.

### Результаты испытаний

Функциональное воздействие вихря (тушение, осаждение дыма, сбивание пламени) наиболее эффективно на участке полета его сплошного фронта. При распылении 350–400 г огнетушащих порошковых составов (ОПС) ПСБ-3 и “Пирант” этот участок на траектории полета фронта газопорошкового вихря простирается на расстояние до 18–22 м от устройства. Площадь фронта на этом участке увели-

чивается от 0,1 до 2 м<sup>2</sup>. При распылении 350–400 г водных растворов ОПС участок стабильного полета — “жизни” сплошного фронта газоводяного шквала составляет 10–15 м от среза ствола. Площадь фронта на этом участке увеличивается от 0,1 до 2,5 м<sup>2</sup>. Исходя из этих экспериментально полученных закономерностей работы мини-распылителя, и надо осуществлять его эксплуатацию. Дальность распыления, длина наиболее эффективного участка траектории и площадь фронта на этом участке зависят от вида, массы, агрегатного состояния и плотности состава, а также от динамических параметров фронта, исходя из требуемого вида его функционального воздействия. Эти параметры с трудом поддаются расчету методами вычислительной гидрогазодинамики ввиду нестационарности и сложности процессов межфазного взаимодействия и тепломассообмена. Поэтому реален только эмпирический путь определения взаимосвязи параметров распыления — длины траектории, изменения площади фронта вихря и функциональной эффективности мини-распылителя.

Экспериментально определены следующие параметры функционального воздействия шквала при тонкодисперсном распылении воды разработанным устройством:

- быстрое сбивание пламени и осаждение густого дыма на расстоянии 10–15 м;
- тушение горячей одежды на человеке на расстоянии до 6–8 м;
- отсутствие раздражающего действия;
- реабилитация человека, находящегося в бессознательном или паническом состоянии.

По своим габаритам импульсные мини-огнетушители могут быть карманными, обеспечивающими функциональное воздействие в радиусе до 3–8 м; набедренного и поясного ношения, эффективно действующими на расстоянии до 10–15 м. Эффективность воздействия означает, что на указанных расстояниях разработанные мини-огнетушители:

- тушат различные возгорания, в том числе от специальных зажигательных составов (например, напалма), применяемых в диверсионных устройствах и зажигательном оружии;
- тушат горящую одежду на человеке, например на полицейском при попадании в него бутылки с “коктейлем Молотова” (рис. 2);
- справляются с локальными пожарами классов А (твердые горящие материалы), В (горящие жидкости), С (горящие газы), D (электрооборудование под напряжением);
- обеспечивают остановку и нейтрализацию атакующего злоумышленника одним распылом с дистанции до 20 м.



Рис. 2. Пример тушения горящего манекена в шлеме и форме полицейского опытным мини-огнетушителем

Fig. 2. An example of extinguishing a burning policeman in a helmet and uniform by an experienced mini fire extinguisher

Мини-распылители создают газопылевые вихри и газоводяные шквалы, содержащие в виде тонкодисперсной фазы:

- огнетушащие гели и жидкости, включая составы, создающие при взаимодействии с воздухом клейкие, герметичные пленки;
- огнетушащие составы, допущенные для применения в помещениях с людьми. К ним может относиться, например, порошок, создающий сильное раздражающее воздействие на органы зрения, дыхания, обоняния, которое не имеет вредных последствий;
- природные материалы, экологически чистые, нетоксичные (песок, вода), слабоактивные (пищевая сода), и инертные пыли, останавливающие и раздражающие организм при определенных динамических режимах подачи, но не наносящие травм, химических ожогов и увечий. Человеческий организм сам справляется с последствиями их воздействия без помощи врача;
- красящие составы для применения полицией при контроле массовых беспорядков.

Мини-огнетушители разработанной конструкции имеют следующие преимущества по сравнению с газовым баллончиком при индивидуальном применении в целях обеспечения безопасности:

- воздействие только на цель (отсутствие обратного воздействия на того, кто его применяет);
- высокая вероятность попадания шквалом широкого фронта (площадь фронта мини-вихря в диапазоне от 0,1 до 1,5 м<sup>2</sup> быстро возрастает вдоль дистанции распыления);
- значительная дальность действия (до 10–20 м — для мини-огнетушителя, 0,5–1,0 м — для баллончика);
- гарантия безотказного срабатывания на 5–10 лет (для портативного газового баллона — на 2–3 мес. при одинаковой стоимости изделия);
- нетоксичность действия (в отличие от газа баллончика, который может выжечь глаза, носоглотку, рот);
- возможность применения порошков с перцовой добавкой, наиболее эффективных из числа нетоксичных.

#### Опыт применения прототипов распылителя, выпущенных с участием автора идеи

Мини-огнетушители вместимостью 0,15; 0,25 и 0,33 л (см. таблицу) выпускались в советское время и в 1990-е годы промышленными партиями. В частности, в 1979 г. ПО “Сигнал” (г. Челябинск) выпустило 12 тыс. мини-огнетушителей “Олимпиада” 0,15 л на базе корпусов и воспламенителей сигнальных ракет калибра 40 мм по заказу органов правопорядка, обеспечивающих безопасность на Московской Олимпиаде (1980 г.), в качестве карманных распылителей для правоохранителей в штатском. В период проведения Олимпиады они были использованы для тушения 3 чел. в горящей одежде, подавления более 250 возгораний и прекращения до 150 мелких драк без нанесения травм и причинения отравлений.

Характеристики мини-огнетушителей / Parameters of mini-extinguishers

Параметр Parameter	Мини-огнетушитель / Mini-extinguisher		
	Олимпиада-80/ Малыш Olimpiada-80/Kid	Импульс-0,33/ Импульс-04 Impulse-0,33/ Impulse-0,4	Многоразовый + 5 контейнеров Multi-usage + 5 containers
Масса общая, г / Total weight, gr	450/750	900/700	3500 (1000 + 500×5)
Масса распыляемого состава, кг / Spray mass, kg	125/250	250/400	1980 (330 + 330×5)
Радиус тушения, м / Extinguish range, m	1,5/2,5	4/4–12	3,5
Площадь тушения, м <sup>2</sup> / Area of extinguish, m <sup>2</sup>	0,25/0,5	0,5/1	4,5–6
Длина ствола, мм / Barrel's long, mm	165/260	170/220	550
Диаметр ствола, мм / Barrel's caliber, mm	40	50	50

В 1994–1996 гг. в Киеве выпускался мини-огнетушитель “ОПЭ-1” вместимостью 0,33 л в количестве 10 тыс. шт. Все изделия были реализованы по цене в 6–8 раз выше себестоимости их производства. В 1992–1994 гг. на заводе в Самарской обл. выпустили партию мини-огнетушителей “Малыш” вместимостью 0,25 л в количестве 900 тыс. шт. Причиной отсутствия дальнейшего развития этих проектов (см. таблицу) стали неправильные действия выпускающих фирм по сертификации продукции, налаживанию рынка сбыта и отсутствие современной рекламы.

### **Обсуждение результатов. Рекомендации по применению мини-распылителей**

Эксперименты показали, что импульсные мини-распылители вместимостью 0,4 л с терочным инициатором тушат различные возгорания, включая поджоги посредством зажигательных составов; человека в горящей одежде (например, полицейского при попадании в него бутылки с “коктейлем Молотова”) [19, 20], локальные пожары классов А–F.

Шквалы с толщиной фронта 0,5–1,0 м, создаваемые распылителями, могут осадить густой дым в коридоре на участке длиной 10–15 м в течение 1 с и на краткий период времени (2–5 с) очистить пути эвакуации для людей от дыма. Фронт шквала способен также эффективно и быстро потушить источник дыма в пористых, тканевых, твердых искусственных материалах или сбить пламя на пути эвакуации. Поэтому такие распылители (20–30 шт.) должны быть на постах охранников в ТРЦ, у охранников в игровых комнатах, а также размещаться с интервалом 10–20 м на путях эвакуации в специальных настенных держателях.

Разработанные распылители дешевы, просты и надежны в эксплуатации. Они могут потушить горящую одежду на людях в течение 1–2 с, что с высокой вероятностью спасет их от тяжелых болезненных ожогов. Поэтому такие распылители должны быть в наличии у сотрудников противопожарной службы, которые должны носить их в специальных набедренных карманах во время работы по тушению пожара.

Ударный фронт шквала или вихря, создаваемый этими распылителями, способен остановить и нейтрализовать бандита одним распылением без обрат-

ного эффекта на обороняющегося быстрее, лучше и надежнее, чем газовые баллончики и пистолеты. Поэтому несколько таких огнетушителей должны находиться в багажниках полицейских автомобилей, мотоциклов, на постах объектовой полиции, дежурных, охранников и другого персонала различных объектов массового пользования (торговых центров, кинотеатров, театров, стадионов). Другая причина вооружения полицейских такими огнетушителями состоит в том, что, как правило, полиция значительно раньше пожарных прибывает на место автомобильных аварий и не может спасти людей из горящих автомобилей.

Данный распылитель можно эффективно применять для самозащиты путем распыления штатных раздражающих составов, инертной пыли или слабораздражающих огнетушащих порошков. Скоростной плотный фронт газопорошкового вихря многократно усиливает раздражение по сравнению с малоподвижным воздушно-порошковым облаком. Точное определение оптимальных параметров воздействия и скоростных диапазонов требует проведения дальнейших экспериментов.

### **Выводы**

Новый мини-огнетушитель превосходит существующие как в качественном отношении, обеспечивая возможность эвакуации и безопасного тушения горячей одежды на человеке, так и по своим характеристикам (эффективности, дальности, масштабу воздействия и степени безопасности).

Можно рекомендовать новый вид огнетушителя для сертификации и дальнейшей организации серийного производства в целях широкого применения в общественных зданиях для защиты людей и обеспечения их эвакуации.

Рынок сбыта миниатюрного огнетушителя представляется очевидным: торговые комплексы; офисы; места массового скопления людей — кинозалы, театры, музеи, здания, где проводятся дискотеки, выставки, конференции; автомобили; квартиры, коридоры и лестничные клетки в многоэтажных домах, особенно в небоскребах; промышленные объекты — заводы, склады, подземные сооружения (в первую очередь нефтегазовые), химические производства, энергетические объекты, включая атомные электростанции.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Калач А. В., Петров Е. Ю., Федянин В. И. Применение новых систем пожарной безопасности по предупреждению возникновения пожара в торгово-развлекательном комплексе “Московский проспект” // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. — 2012. — № 1(3). — С. 334–337.

2. Мальцев А. Н. Внедрение автоматических систем пожаротушения в торговых комплексах // NovaInfo.Ru. — 2016. — Т. 2, № 53. — С. 66–70.
3. Харченко И. А., Климак П. В., Скоробагатько Т. Н., Якименко Е. Ф. Токсичность продуктов горения — основная причина гибели людей вследствие пожаров // Актуальные проблемы транспортной медицины. — 2006. — № 4(6). — С. 41–45.
4. Хоанг Тхо Дык, Корольченко А. Я. Выбор системы оповещения и управления эвакуацией при пожаре // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 69–75.
5. Recht R. F. High velocity impact dynamics: analytical modeling and plate penetration dynamics // High velocity impact dynamics / Zucas J. A. (ed.). — New York : John Willey & Sons, 1990. — P. 443–513.
6. Han J., Tryggvason G. Secondary breakup of axisymmetric liquid drops. II. Impulsive acceleration // Physics of Fluids. — 2001. — Vol. 13, No. 6. — P. 1554–1565. DOI: 10.1063/1.1370389.
7. 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.
8. Duan R.-Q., Koshizuka S., Oka Y. Numerical and theoretical investigation of effect of density ratio on the critical Weber number of droplet breakup // Journal of Nuclear Science and Technology. — 2003. — Vol. 40, No. 7. — P. 501–508. DOI: 10.1080/18811248.2003.9715384.
9. Segal S., Chandy A., Mikolaitis D. Breakup of droplets under shock impact // Advances in confined detonations / Roy G. D., Frolov S. M., Santoro R. J., Tsyganov S. A. (eds.). — Moscow : Torus Press, 2002. — P. 127–132.
10. 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.
11. Yanson L., Phariss M., Hermanson J. Effects of liquid superheat on droplet disruption in a supersonic stream // 43<sup>rd</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (10–13 January 2005, Reno, Nevada). — Paper AIAA 2005-351. DOI: 10.2514/6.2005-351.
12. 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). — Paper AIAA 2004-411. DOI: 10.2514/6.2004-411.
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. Duan R.-Q., Koshizuka S., Oka Y. Two-dimensional simulation of drop deformation and breakup at around the critical Weber number // Nuclear Engineering and Design. — 2003. — Vol. 225, No. 1. — P. 37–48. DOI: 10.1016/s0029-5493(03)00137-7.
15. Nomura K., Koshizuka S., Oka Y., Obata H. Numerical analysis of droplet breakup behavior using particle method // Journal of Nuclear Science and Technology. — 2001. — Vol. 38, No. 12. — P. 1057–1064. DOI: 10.3327/jnst.38.1057.
16. Чернышов М. В., Данилов Н. А. Исследование и оптимизация ударно-волновых систем и структур в задачах аэрогазодинамики и взрывозащиты // XI Всероссийский съезд по проблемам теоретической и прикладной механики : сб. докл. — Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2015. — С. 4067–4070.
17. Бочкарева Е. М., Немцев В. А., Сорокин В. В., Терехов В. В., Терехов В. И. Снижение давления пара при конденсации на холодных каплях жидкости // Инженерно-физический журнал. — 2016. — Т. 89, № 3. — С. 542–547.
18. Zakhmatov V. D., Silnikov M. V., Chernyshov M. V. Overview of impulse fire-extinguishing system applications // Journal of Industrial Pollution Control. — 2016. — Vol. 32, No. 2. — P. 490–499.
19. Захматов В. Д., Пузыня О. В. Защита полицейских в условиях массовых беспорядков // Защита и безопасность. — 2014. — № 2(69). — С. 10–11.
20. Zakhmatov V. Torud, pommid ja labidad — plahvatuslik tuletortehnoloogia // Inseneeria (Tallinn, Estonia). — 2014. — No. 2. — P. 14–20.

Материал поступил в редакцию 21 марта 2018 г.

**Для цитирования:** Захматов В. Д., Турсенев С. А., Чернышов М. В., Адаев А. А., Бекасов А. В. Новые средства обеспечения эвакуации в общественных зданиях с массовым пребыванием людей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 5. — С. 61–69. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.61-69.

## NEW MEANS OF PROVIDING EVACUATION IN PUBLIC BUILDINGS WITH MASS STAY OF PEOPLE

**ZAKHMATOV V. D.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Scientific and Organizational Department, Saint Petersburg University of State 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 Scientific and Organizational Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: stursenev@ya.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)

**ADAEV A. A.**, OOO ProgressPozhServis (Chapaeva St., 10, Samara Region, Chapaevsk, 446100, Russian Federation; e-mail: aladaev2006@yandex.ru)

**BEKASOV A. V.**, OOO ProgressPozhServis (Chapaeva St., 10, Samara Region, Chapaevsk, 446100, Russian Federation; e-mail: albekasov@yandex.ru)

### ABSTRACT

**Introduction.** The purpose of the article is to substantiate the need for widespread implementation of unique compact smoke deposition devices in the practice of providing evacuation from public buildings, in particular shopping centers. The following problems are solved in the article: the rationale for the design of the nebulizer, which has no limitations for use in public buildings with a mass stay of people; choice of the prototype of mass application; description and analysis of the experiments; development of recommendations for the use of the nebulizer; the rationale for the further development of its design.

**Methodology.** It is shown that toxic smoke is a major damaging factor (more than 90 % of people affected by fires in public buildings, including shopping mall). For the deposition of smoke and provide escape routes, sprinkler systems are designed, but they are ineffective for smoke deposition and ineffective in neutralizing toxicity. A whole complex of measures was developed for the urgent alteration of shopping centers, increasing the executive discipline of personnel and building owners, eliminating numerous violations of the construction of prefabricated buildings, replacing flammable finishing materials and fillers of soft toys, intensively emitting smoke, regular training for evacuation from shopping centers, advanced training in protection.

**Results and discussion.** It is substantiated that the fastest and most effective measure can be the equipping of shopping centers with new manual smoke sedimenting extinguishers — mini fire extinguishers. In the polygon tests, the effectiveness of new devices for creating evacuation routes by the method of precipitation and neutralization of thick toxic smoke was demonstrated. It is shown that the use of these devices does not require special training: they can be effectively used by guards and visitors to shopping centers and other public buildings for self-rescue, putting out burning clothes on a person and creating short passes in smoke. A high range of spraying and quenching by mini fire extinguishers has been identified. Their advantages are proved in comparison with stationary sprinkler systems, according to the instructions intended.

**Conclusions.** It is expedient and necessary to create and certify the production of new impulse sprayers with compactness, durability, efficiency, and to conduct an advertising campaign based on the results presented, to create a regulatory framework and legislative support for the introduction of such sprayers in the interests of the safety of visitors to the SEC, discotheques and other public buildings

**Keywords:** shopping and entertainment center; conflagration; toxic spoke; evacuation; pulse fire extinguisher; smoke deposition; flame beating; evacuation way support.



## REFERENCES

1. Kalach A. V., Petrov E. Yu., Fedyanin V. A I. Application of new fire safety systems for prevention of conflagration in shopping and entertainment center “Moskovsky Prospekt”. *Sovremennyye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy / Modern Technologies of Civil Defense and Elimination of Emergencies*, 2012, no. 1(3), pp. 334–337 (in Russian).
2. Maltsev A. N. Introduction of automatic fire-extinguishing systems to shopping centers. *NovaInfo.Ru*, 2016, vol. 2, no. 53, pp. 66–70 (in Russian).
3. Kharchenko I. A., Klimas R. V., Skorobagatko T. N., Yakimenko E. F. Toxicity of combustion products is the main cause of loss of life as a result of fires. *Aktualnyye problemy transportnoy meditsiny / Actual Problems of Transport Medicine*, 2006, no. 4(6), pp. 41–45 (in Ukrainian).
4. Hoang Tho Duc, Korolchenko A. Ya. Selection system of warning and evacuation control during a fire. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 69–75 (in Russian).
5. Recht R. F. High velocity impact dynamics: analytical modeling and plate penetration dynamics. In: Zucas J. A. (ed.). *High velocity impact dynamics*. New York, John Wiley & Sons, 1990, pp. 443–513.
6. Han J., Tryggvason G. Secondary breakup of axisymmetric liquid drops. II. Impulsive acceleration. *Physics of Fluids*, 2001, vol. 13, no. 6, pp. 1554–1565. DOI: 10.1063/1.1370389.
7. 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.
8. Duan R.-Q., Koshizuka S., Oka Y. Numerical and theoretical investigation of effect of density ratio on the critical Weber number of droplet breakup. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 2003, vol. 40, no. 7, pp. 501–508. DOI: 10.1080/18811248.2003.9715384.
9. Segal S., Chandy A., Mikolaitis D. Breakup of droplets under shock impact. In: Roy G. D., Frolov S. M., Santoro R. J., Tsyganov S. A. (eds.). *Advances in confined detonations*. Moscow, Torus Press, 2002, pp. 127–132.
10. 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.
11. Yanson L., Phariss M., Hermanson J. Effects of liquid superheat on droplet disruption in a supersonic stream. In: *43<sup>rd</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* (10–13 January 2005, Reno, Nevada), paper AIAA 2005-351. DOI: 10.2514/6.2005-351.
12. 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), paper AIAA 2004-411. DOI: 10.2514/6.2004-411.
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. Duan R.-Q., Koshizuka S., Oka Y. Two-dimensional simulation of drop deformation and breakup at around the critical Weber number. *Nuclear Engineering and Design*, 2003, vol. 225, no. 1, pp. 37–48. DOI: 10.1016/s0029-5493(03)00137-7.
15. Nomura K., Koshizuka S., Oka Y., Obata H. Numerical analysis of droplet breakup behavior using particle method. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 2001, vol. 38, no. 12, pp. 1057–1064. DOI: 10.3327/jnst.38.1057.
16. Chernyshov M. V., Danilov N. A. Study and optimization of shock-wave structures in problems of aerogasodynamics and blast protection. In: *XI Vserossiyskiy syezhd po problemam teoreticheskoy i prikladnoy mekhaniki. Sbornik dokladov* [Proceedings of XI All-Russian Congress of Theoretical and Applied Mechanics]. Kazan, Kazan University Publ., 2015, pp. 4067–4070 (in Russian).
17. Bochkareva E. M., Terekhov V. V., Terekhov V. I., Nemtsev V. A., Sorokin V. V. Reduction in the vapor pressure in condensation on cold droplets of a liquid. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2016, vol. 89, issue 3, pp. 553–558.
18. Zakhmatov V. D., Silnikov M. V., Chernyshov M. V. Overview of impulse fire-extinguishing system applications. *Journal of Industrial Pollution Control*, 2016, vol. 32, no. 2, pp. 490–499.
19. Zakhmatov V. D., Puzynya O. V. Protection of policemen in mass disturbances. *Zashchita i bezopasnost / Protection and Security*, 2014, no. 2(69), pp. 10–11 (in Russian).
20. Zakhmatov V. Torud, pommid ja labidad — plahvatuslik tuletortehnoloogia. *Inseneeria* (Tallinn, Estonia), 2014, no. 2, pp. 14–20.

**For citation:** Zakhmatov V. D., Tursenev S. A., Chernyshov M. V., Adaev A. A., Bekasov A. V. New means of providing evacuation in public buildings with mass stay of people. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 5, pp. 61–69 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.05.61-69.