

## О возможности использования новой импульсной пожарной техники для качественно новой крупномасштабной дезинфекции

© В.Д. Захматов<sup>1</sup>, М.В. Чернышов<sup>2</sup>✉, Н.В. Щербак<sup>3</sup>

- 1 Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149)
- 2 Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., 1)
- 3 ООО «ЗОЛА» (Россия, 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Промышленная, 19, офис 301)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Приведен обзор применения традиционной техники для распыления дезинфицирующих растворов и порошков в интересах борьбы с вирусными инфекциями в период пандемии.

**Цели и задачи.** Цель работы состоит в обосновании необходимости разработки нового способа комбинированной дезинфекции. Для ее достижения необходимо решить следующие задачи: 1) исследовать эффективность воздействия ударных волн на микроорганизмы; 2) обосновать возможность применения существующей пожарной техники, штатных зарядов и образцов вооружения для проведения ударно-волновой дезинфекции; 3) провести поиск оптимального режима эффективной крупномасштабной дезинфекции; 4) обосновать совместимость ударно-волнового режима с масштабным распылением химических дезинфицирующих составов; 5) разработать и адаптировать импульсную пожарную технику и методы ее применения для осуществления гибкого управления дезинфекцией в широком диапазоне обрабатываемых площадей.

**Материалы и методы.** Показаны недостатки применяемой техники дезинфекции распылом и невозможность их устранения путем модернизации традиционной гидравлической и пневматической техники, без изменения принципа ее действия.

**Результаты и обсуждение.** Предложен новый метод дезинфекции, основанный на имеющемся опыте разработки и эксплуатации импульсной пожарной техники. Перспективна технология дезинфекции с применением ударно-волнового механизма деструкции микроорганизмов и их последующего разрыва в волне разгрузки. Обоснован оптимальный путь ударного распыления дезинфицирующих химических растворов (ДХР) и порошков, что впервые позволяет создать эффект комбинированной дезинфекции, сочетающей различные механизмы воздействия: 1) ударное сжатие и резкий нагрев; 2) разгрузка давления, разрывающая микроорганизмы; 3) конвективный нагрев фронтом шквала, содержащего высокотемпературные паровые вихри; 4) химическая дезинфекция микрокаплями и парами ДХР, напыляемыми на различные поверхности, включая неровности, щели, трещины, объекты сложной формы.

**Выводы.** Предлагаемая высокоперспективная техника не имеет аналогов в мире. Она защищена российскими, украинскими, китайскими патентами. Ее производство целесообразно, если осуществлять его с достаточным финансированием на работающих заводах оборонно-промышленного комплекса.

**Ключевые слова:** многостольные модули; полигонные испытания; замеры давления; пьезодатчики; блочные импульсные газожидкостные струи; канал ствола; срез ствола; дульная скорость

**Для цитирования:** Захматов В.Д., Чернышов М.В., Щербак Н.В. О возможности использования новой импульсной пожарной техники для качественно новой крупномасштабной дезинфекции // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 4. С. 59–69. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.59-69

✉ Чернышов Михаил Викторович, e-mail: mvcher@mail.ru

## The potential use of new impulse fire-fighting machinery for qualitatively new large-scale disinfection

© Vladimir D. Zakhmatov<sup>1</sup>, Mikhail V. Chernyshov<sup>2</sup>✉, Nikolay V. Shcherbak<sup>3</sup>

- 1 Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)
- 2 Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov (1-ya Krasnoarmeyeskaya St., 1, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation)
- 3 ZOLA LLC (Promyshlennaya St., 19, office 301, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation)

**ABSTRACT**

**Introduction.** This paper is an overview of the use of standard equipment capable of spraying disinfectants and powders and fighting viral infections during a pandemic.

**Aims and objectives.** The objective of the paper is to substantiate the need to develop a new method of combined disinfection. The following problems are to be tackled to meet this challenge: 1) the study of shock waves and their efficiency if applied to microorganisms; 2) the substantiation of the efficient use of the available fire-fighting machinery, standard charges and sample equipment for shock-wave disinfection; 3) the search for the optimal and effective cycle of large-scale disinfection; 4) the compatibility substantiation of the shock-wave mode of large-scale spraying of chemical disinfectants; 5) the development and adjustment of impulse fire-fighting equipment to ensure flexible disinfection control in a wide range of areas.

**Materials and methods.** The weaknesses of disinfection by spraying disinfectants and the impossibility of their elimination by upgrading traditional hydraulic and pneumatic equipment, without changing their operating principles, have been demonstrated.

**Results and discussion.** A new disinfection method, based on the accumulated experience of operation of impulse fire equipment, is proposed. A disinfection methodology that contemplates the shock-wave destruction of microorganisms has a strong potential. The optimal cycle of spraying disinfectant chemical solutions (DCS) and powders has been substantiated; it assures comprehensive disinfection based on various mechanisms of action: 1) impact compression and prompt heating; 2) pressure relief that destroys microorganisms; 3) convection heating using a squall front that has high-temperature steam whirls; 4) chemical disinfection using micro-drops and DCS vapors sprayed on various surfaces that have irregularities, slots, cracks, irregular shape items.

**Conclusions.** The proposed advanced equipment has no close substitutes in the world. It is protected by the Russian, Ukrainian and Chinese patents. Its production is expedient if launched at defense plants in operation if sufficient funding is available.

**Keywords:** multi-nozzle modules; field tests; pressure tests; piezo sensors; modular pulsed gas-liquid jets; nozzle channel; nozzle shear; muzzle velocity

**For citation:** Zakhmatov V.D., Chernyshov M.V., Shcherbak N.V. The potential use of new impulse fire-fighting machinery for qualitatively new large-scale disinfection. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):59-69. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.59-69 (rus.).

✉ Mikhail Viktorovich Chernyshov, e-mail: mvcher@mail.ru

**Введение**

Дезинфекция — сложный, опасный и наиболее трудоемкий этап в борьбе с коронавирусом и другими вирусами, которые появятся в будущем. Применяемая сейчас техника дезинфекции по конструкции близка к пожарной гидравлической технике, огнетушителям, автоцистернам и коммунальным поливочным машинам. Важность такой техники трудно переоценить: если не обеспечить быструю и качественную дезактивацию зданий, помещений, улиц, открытых площадок и не дать людям индивидуальных средств не только пассивной защиты, но и активной личной дезактивации, а профессионалам и правоохранителям — ручных средств дезактивации групп людей, комнат, автомобилей, промышленных и других помещений, то все остальные мероприятия фактически сводятся на нет; по крайней мере, значительно снижается их эффективность.

Возможно, недостаточная эффективность современной дезинфицирующей техники является основной причиной того, что до сих пор (по состоянию на 12.05.2020) сохраняется рост зараженных коронавирусом. По мнению специалистов-медиков, как минимум 1–2 раза в сутки требуется проводить качественную дезактивацию мест, где были или могли быть зараженные люди. Есть достаточно оснований предполагать, что своевременная и ка-

чественная дезактивация — основная операция для прекращения распространения эпидемии.

За период изоляции подразделения российских войск радиационной, химической и биологической защиты (РХБЗ) обработали дезинфицирующими растворами более 4 млн м<sup>2</sup> (400 га) зараженных площадей зданий, больниц, дорог, улиц, площадей. Действующие места общественного пользования дезинфицируют несколько раз ежедневно. Однако для прекращения пандемии требуется дезинфицировать, как минимум, на порядок больше, что многократно превосходит возможности военных и гражданских дезинфекционных подразделений. Отсутствие достаточно быстрой и качественной дезинфекции зданий, помещений, открытых площадок многократно снижает эффективность изоляции и лечения больных [1–3].

В период пандемии коронавируса необходимо обеспечить нормальный рабочий режим предприятий, энергетических и военных объектов, правительственных и административных учреждений. Для этого требуется не менее чем двукратная (перед началом и в конце рабочей смены) дезинфекция рабочих помещений в широком диапазоне масштабов (офисы, больничные палаты, длинные коридоры, залы, крупнопролетные цеха, склады, ангары). Масштабы задач многократно превосходят возможности подразделений войск РХБЗ. Своевременная

и качественная дезинфекция требует внедрения новой технологии и техники распыления ДХР, к которым предъявляются следующие требования: быстрое, равномерное, сплошное проникающее напыление микрокапель ДХР на заданные площади сложной конфигурации с минимальным расходом ДХР в широком диапазоне требуемых масштабов распыления [4–6].

Очень характерно для современной пандемии коронавируса то, что даже наиболее богатые страны не могут справиться с эпидемией при наличии достаточного запаса вакцин и больших, быстро пополняемых запасов дезактивирующих растворов. Основная причина этого — высокие удельные расходы дезактивирующих составов из-за низкой эффективности современной техники распыления, практически мало отличающейся от традиционной пожарной техники. Однако при дезактивации важна не столько дальность и интенсивность подачи этих растворов, сколько эффективность достижения тонкодисперсного распыления дезактивирующих растворов и проникновения газомикрокапельного аэрозоля на обрабатываемые поверхности и внутрь них. Наиболее эффективные режимы распыла для дезактивации значительно отличаются от режимов пожаротушения, при которых ряд особенностей предлагаемой новой технологии распыления играет решающую роль [7, 8].

Цель данной статьи состоит в обосновании целесообразности и актуальности разработки нового способа комбинированной дезинфекции, предлагаемого авторами. Для достижения цели в ходе ведущихся и перспективных исследований необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести исследование эффективности воздействия ударных волн на микроорганизмы;
- 2) выполнить обоснование возможности применения штатных зарядов и образцов вооружения для проведения ударно-волновой дезинфекции;
- 3) произвести поиск оптимального режима эффективной крупномасштабной ударно-волновой дезинфекции;
- 4) дать обоснование совместимости ударно-волнового режима с масштабным распылением химических; дезинфицирующих составов;
- 5) выполнить разработку и адаптацию техники и методов ее применения для осуществления нового способа комбинированной дезинфекции, гибко управляемой в широком диапазоне обрабатываемых площадей.

### Материалы и методы

Одной из наиболее трудно решаемых задач в борьбе с коронавирусом в настоящее время яв-

ляется дезактивация мелкораспыленными растворами спирта и хлора множества больших помещений, длинных коридоров, ангаров, залов ожидания, больниц, всех многолюдных помещений, особенно тех, в которых находились носители вируса. В настоящее время в помещениях применяются только ручные распылители с тяжелыми воздушными баллонами высокого давления. Используемые тонкодисперсные распылители — от традиционных (высокого давления) до пневмоимпульсных — имеют малый радиус действия. Дезактивация крупномасштабных и удлиненных помещений занимает много времени и требует нахождения множества людей в опасной зоне. Операторы дезактивирующей техники, работающие в тяжелых защитных изолирующих костюмах с ограниченной вентиляцией, быстро устают и не могут всю смену качественно выполнять однообразную работу в очень некомфортных условиях и опасных зонах [3, 9].

Очень актуальной в условиях семьи, малой фирмы, офиса, небольшого подразделения является необходимость наличия компактных и ручных распылителей, прежде всего для быстрой многократной самозащиты и дезактивации себя и товарища, члена семьи, коллеги, партнера по переговорам. Наличие средства эффективной самозащиты у человека в обстановке тотальной эпидемии, безусловно, значительно улучшит его самочувствие, настроение и объективную степень защищенности. При этом количество и возможности профессиональных команд дезактивации всегда очень ограничены, и своевременная обработка множества разнообразных объектов и людей при эпидемии практически невозможна. Их эффективность едва ли может быть повышена в требуемой степени применением современных вспомогательных составляющих — роботов-носителей, как в госпиталях Китая. Робот с распылителем повышает эффективность дезактивации по сравнению с оператором, так как робот не испытывает усталости, его движения более точны и стабильны. Однако шасси робота не может улучшить газодинамические характеристики потока ДХР и качество его дезактивационного воздействия. Поэтому распылитель, установленный на роботе, работает с большими удельными расходами дезактивирующей жидкости, масштаб его работы без перезарядки мал. Робот часто должен выезжать на перезарядку, что сильно ограничивает возможности дезактивации помещения и не позволяет намного сократить ее продолжительность по сравнению с работой человека-оператора [10, 11].

Для дезактивации улиц традиционно применяются традиционные поливочные машины, которые создают струи грубо распыленной воды и практи-

чески пригодны только для полива улиц. Поливы улиц, площадей дезактивирующими растворами с помощью традиционной техники приводят к очень большим удельным расходам реагентов вследствие того, что основная масса дезактивирующих растворов сливается в канализацию, а эффективность дезактивации очень низка. Например, применяемая сейчас тяжелая машина дезинфекции везет 7,5 т дезинфицирующего раствора, но его реально хватает не более чем на 500 м улицы шириной до 10 м. Дезактивация проводится с удельным расходом раствора 1,5 л/м<sup>2</sup> при теоретически необходимых 0,03...0,1 л/м<sup>2</sup> [3, 12].

В Киеве для дезинфекции городских объектов и промышленных территорий используют беспилотники (дроны, БПЛА), работающие в сельском хозяйстве для нанесения пестицидов на поля. Они осуществляют безлюдную дезинфекцию, сверху распыляют ДХР, что быстрее и внешне эффективнее покрывает площадь обработки. Однако при применении гидравлической техники слива ДХР не обеспечивается распыление струи. В результате площадь орошения мала и неравномерна. При применении пневмоимпульсной техники высокого давления высоки аэродинамические потери жидкости. Большая часть ДХР распыляется в воздухе, не долетая до поверхности с вирусами. Дроны могут быть эффективны для дезинфекции из-за их способности летать низко и с малыми скоростями, но при условии применения новых систем распыления, обеспечивающих тонкодисперсное распыление ДХР и устойчивость распыла к аэродинамическому сопротивлению. БПЛА для дезинфекции были предоставлены украинской компанией DroneUA, дистрибьютором китайских компаний, выпускающих БПЛА DJI Agras MG-1P с емкостью бака всего 10 л. Учитывая такую емкость и низкую эффективность распыла, дезинфекция может носить только декоративный, показательный характер. Одновременно киевские коммунальные предприятия продолжают мыть и дезинфекцию улиц в усиленном режиме.

Ажиотаж в мировом масштабе, вызванный коронавирусом, позволяет с большой степенью уверенности предположить, что в возможных военных конфликтах близкого будущего может применяться бактериологическое оружие. Поэтому совершенствование техники распыления средств дезактивации представляет большой интерес для защиты подразделений Вооруженных сил, других силовых ведомств, военных объектов, критически важных промышленных и энергетических объектов. При этом наиболее важными оказываются показатели качества дезинфекции, быстроты и малых удельных расходов дезактивационных составов, однако традиционная совре-

менная распылительная техника такими качествами обладает в очень малой степени [13, 14].

Требуемые масштабы и частота проведения дезактивации в различных странах в 50–200 раз превышают возможности существующих подразделений и техники дезактивации. Коэффициент полезного действия ДЗЖ (КПД<sub>ДЗЖ</sub>) при существующих технологии и технике распыления составляет 5...10 %. Очевидно, что это является одной из основных причин медленной локализации распространения коронавируса. Согласно сообщениям СМИ, катастрофическая ситуация складывается в Вооруженных силах Украины. Из зоны боевых действий в Донбассе решением командования Северной группы войск выводится 59-я мотопехотная бригада, в которой больны коронавирусом 79 % военнослужащих — более 1500 солдат и офицеров, включая комбрига Геннадия Шаповалова. Бригада в полном составе направлена на территорию 242-го Гончаровского общевойскового полигона, где срочно, в режиме тушения пожара, оборудуется изоляционная зона. На смену ей должна прийти 24-я мехбригада, но позиции ее предшественников — траншеи, окопы, блиндажи, дзоты — требуют тщательной дезактивации, гораздо более трудной, чем дезактивация городских асфальтированных улиц и помещений. Если традиционная техника дезинфицирует асфальтированную поверхность с большими удельными расходами ДХР, то полевые укрепления для эффективной дезинфекции придется буквально заливать ДХР или засыпать хлорной известью. Это на длительное время исключит возможность пребывания военнослужащих. Необходима качественно иная техника, способная с малыми удельными расходами ДХР путем их проникающего напыления обеспечить эффективную дезинфекцию.

Американские эксперты вообще сомневаются в необходимости дезинфекции улиц во время пандемии коронавируса [15]. По их мнению, власти делают это для успокоения населения, поскольку эффективность этого метода недопустимо низка из-за неравномерности распыла дезинфекционных растворов и, как следствие, для создания эффекта сплошного воздействия на площади различной конфигурации — ведь дезинфекция проводится с очень большими расходами на единицу площади. Такой разлив хлорных растворов, несомненно, оказывает пагубное влияние на окружающую среду и людей. По данным ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения), хлорная известь, которой во многих странах обрабатывают поверхности, наносит ожоги, требующие серьезного лечения. «Нет никакой научной основы для традиционной технологии распыления и больших общественных работ. Это



дорого, малополезно — мы просто выбрасываем дезинфицирующие растворы в среду», — уточнил Майкл Остерхолм, директор Центра исследований инфекционных заболеваний и политики в Университете Миннесоты [15].

Французское агентство по здравоохранению (ARS) столичного региона Иль-де-Франс на вопрос мэрии Парижа о том, насколько эффективна дезинфекция улиц, ответило, что пользы от слива больших масс активных растворов мало. Однако они не отрицают необходимость регулярной масштабной дезинфекции улиц и помещений, где были или могли быть зараженные. В агентстве по здравоохранению парижского региона говорят об опасности дезинфекции большими массами хлорных растворов для окружающей среды. Ряд экспертов указывает на риски заражения химикатами водостоков и отравления животных и людей. «Вдыхание большого количества паров спирта, ДХР, хлорной извести может иметь немалые побочные эффекты и для населения», — заключили в Главном управлении здравоохранения Франции. Во многих городах специальные бригады используют смесь хлорной извести и воды, способную испортить одежду и создать ожоги на слизистых оболочках полости рта, глаз, носа. Пролит больших масс хлорных и спиртовых растворов заставляет проводить дезинфекцию с помощью людей в специальных изолирующих костюмах, которые соблюдают правила обращения с химическими веществами. Непосредственно после дезинфекции прикасаться к поверхностям без средств индивидуальной защиты не следует. Специалисты ВОЗ советуют не находиться в помещениях во время дезинфекции. После использования хлорки все обработанные поверхности должны быть обильно промыты обычной проточной водой, что существенно замедляет процесс дезинфекции.

В помещениях используют только ручные распылители с ранцевыми или возимыми вручную тяжелыми воздушными баллонами высокого давления и баллоном с запасом ДХР. Число подразделений радиационно-химической защиты во всех странах ограничено, а постоянно растущий объем задач дезактивации многократно превышает их реальные возможности. Остро необходима новая техника распыления ДХР, дезинфицирующая дистанционно, быстро и эффективно с малыми удельными расходами ДХР, близкими к теоретически необходимым [16–18].

Таким образом, есть все основания утверждать, что техника распыления дезактивационных растворов морально и технически устарела и не отвечает современным задачам, например громадным масштабам зданий, сооружений со сложным внутренним наполнением, множеством углов, извилин,

щелей, в которые надо обеспечить проникновение дезактивирующего микрокапельного аэрозоля. Проблематично обеспечить сплошное покрытие ДХР открытых площадей и широких улиц, подлежащих дезактивации. Эти операции осуществляются очень медленно, с большими расходами ДХР на единицу поверхности из-за неравномерности распыления и высоких аэродинамических потерь. Наличие ветра со скоростью 3–5 м/с делает качественную дезинфекцию практически невозможной [19, 20].

## Результаты

Основным результатом разработок, предлагаемых авторами, должен стать новый метод дезинфекции. Применение неопасных для человека слабых ударных волн (УВ) для уничтожения вирусов эффективно на небольшой площади, включая все встречающиеся на ней щели. Однако УВ быстро (пропорционально кубу радиуса распространения) теряет свою интенсивность. Поэтому для распыления на больших площадях необходимы большие заряды высокоэнергетических материалов (ВЭМ), опасные для людей и окружающей среды. Проведение дезинфекции в жилой зоне с проведением масштабных взрывных работ нереально. Увеличить радиус и площадь ликвидации вирусов, снизить звуковой эффект разрушения от взрыва и обеспечить безопасность для людей возможно с помощью преобразования взрывной ударной волны. Один из способов трансформации УВ — насыщение последующей волны газов взрыва (ВГВ, спутного потока) жидкой средой. Такое преобразование УВ снижает перепад давления на ее фронте, растягивает ее фронт в глубину, повышает площадь фронта с сохранением его энергии, достаточной для уничтожения вирусов, расширяет радиус уничтожения вирусов и при этом оставляет УВ безопасной для человека и убийственной для вирусов. У авторов имеется довольно большой опыт направленного микрораспыления различных жидкостей и разработанная методика быстрого подбора оптимального режима распыления практически любых жидкостей [21–23]. Этот режим мультивихревого распыления позволит достичь высокого уровня дезактивации, недостижимого другими методами и техникой.

Новый метод дезинфекции основан на уникальном сочетании газовой и гидродинамической УВ. Газовая УВ формируется перед газомикрокапельным ударным фронтом шквала, увеличивающего дальность действия УВ (по существу, это хорошо известный передний фронт взрывной волны). Гидродинамическая волна формируется во фронте шквала за воздушной ударной волной. Такое соче-

тание впервые позволит реализовать комбинированную дезинфекцию: ударную деструкцию клеток с вирусами, мгновенный их нагрев выше критической температуры живучести, разрыв на части остатков клеток и вирусов под воздействием резкого спада давления в волне разрежения на отрицательной фазе, являющейся неизменным спутником УВ. За ударно-волновым воздействием следует химическая дезинфекция вирусов и бактерий высокоскоростными микрокаплями дезинфицирующего раствора, напыляемыми мощным фронтом на различные поверхности. При этом имеет место эффект проникающего напыления в неровности, щели, сложные конструкции за счет многократных отражений и мультивихревой структуры фронта шквала.

В самом общем физическом смысле фронт УВ представляет собой тонкую поверхность с резким перепадом давления, распространяющуюся со сверхзвуковой скоростью по газовой, жидкой, твердой среде и живым организмам. На фронте УВ в зависимости от ее скорости многократно и мгновенно (скачкообразно) увеличиваются температура, плотность, давление среды. В области повышенного давления за фронтом скорость распространения возмущений малой амплитуды (вторичных слабых ударных волн) в спутном воздушно-капельном потоке возрастает, что увеличивает стабильность головной волны и дальность ее эффективного воздействия.

Воздействие УВ на живые организмы уникально и зависит от амплитуды перепада давления, глубины фронта волны — времени изменения давления и кинетической энергии УВ, которая увеличивается пропорционально квадрату скорости волны  $V^2$  и массе  $M_{г\text{уф}}$  капель на фронте последующего шквала. Термодинамическое состояние среды, возникающее после прохождения УВ, уникально — ввиду необратимости ударно-волнового воздействия, его нельзя получить последовательным пропусканием двух или более УВ меньшей интенсивности. Ввиду малых микроразмеров вирусов (бактерий), ударный фронт мгновенно охватывает их и подвергает сильному комбинированному воздействию: сжатию, деструкции, нагреву, дезактивации в течение нескольких миллисекунд. Болезнетворные вирусы не способны это выдержать, особенно относительно хрупкий коронавирус, умирающий в теле человека при 38 °С.

Описанный механизм воздействия УВ косвенно подтверждается рядом исследований особенностей воздействия УВ на человека: разрывы наблюдаются в органах, содержащих большое количество крови (почки, печень, селезенка), наполненных газом (легкие, кишечник), имеющих полости, наполненные жидкостью (головной мозг, мочевой и желчный пу-

зыри). Дробление листьев, травы наблюдается при избыточном давлении свыше 50 кПа (0,5 атм). УВ характеризуется быстрым и резким нарастанием амплитуды (фаза высокого давления — положительная фаза), за которым следует спад (фаза низкого давления — отрицательная фаза). Проникая в живую ткань, ударная волна может поглощаться, отражаться и рассеиваться. Потери энергии УВ затрачиваются в основном на нагрев материала, по которому проходит волна, в зависимости от плотности среды распространения и ее акустической жесткости (импеданса). В фазе высокого давления ударная волна резко сжимает и мгновенно нагревает ткани, а во время фазы низкого давления сжатые ткани разрываются с эффектом, напоминающим кавитацию (образование пузырьков). Можно предположить, что сначала волна сжимает клетку с бактерией или вирусом (раздавливает, одновременно резко нагревая ее), а в фазе спада давления погибшая клетка лопается.

В 1990-х годах в Германии и Швейцарии для лечения последствий хронического перенапряжения мышц и спортивных травм начали использовать новый метод — ударно-волновую терапию, уничтожающую прежде всего больные, воспаленные и зараженные вирусами клетки, оставляя неповрежденными здоровые. Эксперименты по дроблению камней в почках с помощью ударных волн начались еще до 1970-х годов, а спустя несколько лет этот метод, получивший название «литотрипсия», стал общепризнанным. Попутно изучали, как УВ действуют на кости; в 1980-х годах появились статьи об их воздействии на мягкие ткани, связки, сухожилия. Ударно-волновая терапия успешно лечит, например, пяточную шпору, хронический лучевой или локтевой эпикондилит — «локоть теннисиста».

УВ в аппарате создается, как правило, одним из четырех способов: электромагнитным, электрогидравлическим, пьезоэлектрическим, пневматическим. Электромагнитный генератор образует звуковую волну с помощью упругой деформации металлической мембраны (этот принцип используется, например, в акустических динамиках). Электрогидравлический метод основан на принципе, когда искра вызывает нагревание и ударную волну в жидкой среде. При пьезоэлектрическом методе ударная волна образуется за счет колебаний кристаллов кварца под действием высокого напряжения. При пневматическом методе колебания создаются за счет импульсов сжатого воздуха. Известны результаты исследования эффекта импульсно-периодического разряда в воде с энергией импульса, примерно равной 1 Дж [5]. Определены энергетические затраты бактерицидной очистки воды. Обнаружено свойство биологического воздействия разряда

на микроорганизмы, уничтожающее их. Это свойство предложено использовать на промышленных установках очистных сооружений в системе осушки ила.

Вирус состоит всего из одной молекулы нуклеиновой кислоты, которая хранит генетическую информацию. У него нет аппарата для самовоспроизведения, поэтому он размножается, только паразитируя на клетках зараженного организма. Перегрев и перепад давления (особенно импульсного характера) для вирусов — самые губительные факторы. Во взрывной УВ эти факторы сочетаются: сначала резкий перепад давления, затем существенный нагрев, который должен приводить к гарантированной гибели вирусов. Если учесть, что в создаваемой комбинированной волне присутствуют как газовая, так и гидродинамическая УВ, нагрев массы вещества, содержащего вирусы на поверхности или в приповерхностном слое, и сплошное проникающее ударное напыление микрокапель дезинфицирующего раствора по всей поверхности сложной конфигурации, включая узкие щели, представляются самым эффективным решением.

Таким образом, можно обоснованно предположить, что распыление выстрелом и направленным взрывом дезинфицирующих растворов с созданием шквала за ударным фронтом создает комплексное воздействие на клетки-носители вирусов и сами вирусы с сочетанием следующих поражающих факторов: ударное сжатие и нагрев, импульсная разгрузка, скоростное проникающее воздействие микрокапель ДХР. Каждый из этих механизмов уничтожения бактерий, вирусов сам по себе способен осуществить их уничтожение. Следовательно, такое комплексное сочетание воздействующих факторов обеспечивает практически четырехкратный запас надежности при дезинфекции вирусов.

Прямое воздействие взрывной УВ на живые существа, включая микроорганизмы, возникает в результате воздействия большого избыточного давления и скоростного напора воздуха. Непосредственное воздействие ударной волны (сильное сжатие в период действия фазы сжатия, мгновенное повышение давления в момент прихода УВ) ощущается как резкий удар, а скоростной напор создает лобовое давление и приводит к перемещению тела в пространстве. Ввиду небольших размеров микроорганизмов ударная волна мгновенно охватывает их и подвергает сильному сжатию в течение буквально нескольких миллисекунд.

При удалении от источника энергии интенсивность УВ, распространяющейся в пространстве, быстро убывает. В отличие от случая звуковой волны, рассматриваемой в акустическом приближении,

это обстоятельство объясняется не только геометрическими причинами (увеличением площади фронта волны по мере того, как этот сферический фронт расходится от источника), но и, в большей степени, поглощением энергии УВ, связанным с сильным нагреванием газа в области за волновым фронтом. УВ и спутный поток со шквалом создают площади дезинфекции, размеры которых зависят от мощности, вида фронта и рельефа местности или оборудования в помещении.

### Обсуждение

Основным предметом обсуждения являются технические средства для осуществления комбинированной дезинфекции, предлагаемой авторами. Исходя из вышеизложенного, авторы работы предлагают новый метод комбинированной дезинфекции ударной волной и последующим шквалом пороховых высокотемпературных газов, насыщенных микрокаплями ДХР, характеризующийся следующим сочетанием воздействующих факторов:

- 1) ударной волной, реализующей мгновенную деструкцию ударным сжатием;
- 2) нагревом клеток с вирусами;
- 3) разрывом клеток при резком спаде давления в отрицательной фазе УВ;
- 4) последующим нагревом клеток пороховыми газами, составляющими несущую часть дезинфицирующего шквала;
- 5) проникающим сплошным ударно-вихревым напылением микрокапель ДХР в каждую щель, неровность поверхности, в сложные поверхности.

Таким образом, реализуется четырехкратное сочетание поражающих факторов, каждый из которых может самостоятельно решить задачу ликвидации вирусов. Комплексное сплошное воздействие удара и разгрузки, нагрева, напыления массы микрокапель ДХР создает огромный запас вероятности полной дезинфекции — уничтожения вирусов в широком диапазоне пространственных и поверхностных масштабов.

Для практической реализации этого метода предлагается технология импульсного ударно-волнового распыла (Z-технология) и техника, создающая выстрелами и залпами мощные мультивихревые газомикрокапельные шквалы с гибко регулируемые в широком диапазоне высокой кинетической энергией, дальним радиусом и большим масштабом эффективного действия. Эта техника создавалась в целях импульсного пожаротушения под научным руководством проф. В.Д. Захматова в СССР, на Украине и совершенствовалась в Китае, Эстонии, России. При испытаниях на полигонах

и в реальных ситуациях показаны следующие преимущества по сравнению с современной техникой тонкодисперсного распыления жидкостей:

- дальность  $R$  направленного распыления в заданном секторе увеличивается в 5–10 раз и более. Площадь сплошного проникающего воздействия фронта шквала увеличивается примерно пропорционально  $R^2$ . Объем  $W$ , сквозь который проходит фронт шквала, обеспечивая эффективное воздействие распыления, увеличивается примерно пропорционально  $R^3$ ;
- мультивихревая структура шквала, воздействующего на сложные поверхности (например, в отсеке, помещении, заполненном оборудованием, больничной палате, уставленной койками), за счет эффекта многократного отражения локальных вихрей и взаимоусиления вихрей обеспечивает многократное воздействие и проникающее напыление микрокапель раствора в углы, самые мелкие и извилистые поры. Это минимизирует зависимость качества и объема выполненной работы от оператора распылительной техники и обеспечивает стабильно высокое качество дезинфекции на всем объекте, где проводится обеззараживание;
- ударное действие фронта шквала (свойство, характерное только для механизма распыления, реализуемого в предлагаемой Z-технологии, где составной частью шквала является газовая УВ), играет дополнительное дезактивирующее действие, убивающее вирусы по всей поверхности, включая щели, а также по всему объему. Наличие дисперсной составляющей шквала увеличивает радиус его поражающего действия и в то же время позволяет ограничивать ударное воздействие диапазоном, не опасным для людей, присутствующих в зоне действия шквала;
- универсальность распыления позволит при необходимости распылять различные дезактивационные составы в широком диапазоне динамических параметров, что обеспечит комбинированное воздействие и многократно расширит диапазон решаемых задач. Это впервые позволит гибко регулировать характер воздействия за счет изменения не только вида распыляемого агента, но и динамического режима его распыления;
- время дезинфекции больших помещений будет измеряться не часами (бригада операторов и помощников с распылителями за 1 ч дезинфицирует от 20 до 60 тыс.  $m^2$  в зависимости от наполненности помещений оборудованием), а минутами. Кроме того, 1...2 с будет занимать дезактивация людей и предметов. Таким обра-

зом, скорость дезинфекции повысится, как минимум, в 5–10 раз;

- оснащенность подразделений войск РХБЗ, национальной гвардии, санитарных подразделений Вооруженных сил, сил МЧС позволит многократно повысить качество и сократить сроки проведения дезинфекционных операций;
- множество людей на работе и дома, на улице, на природе получают возможность проведения самостоятельной, быстрой и качественной дезинфекции себя или родственников, знакомых, домашних животных, салона личного автомобиля, рабочего места, небольшой комнаты, кабины и других объектов. Это даст миллионам людей повышение чувства защищенности, что неопределимо и необходимо в период пандемии.

### Рекомендации по практическому применению

Многоствольные модули на шасси танков, самоходных артиллерийских установок (САУ), джипов, прицепов и профессиональные распылители предназначены для использования подразделениями войск РХБЗ, гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ГОЧС), другими военными и военизированными подразделениями, привлекаемыми к проведению операции по дезактивации. Минимальные расходы ДХР впервые позволят создать автономные машины масштабной дезактивации. При этом 500 м улицы будут дезинфицироваться не за 30...40 мин с расходом 7,5 т ДХР, а за 30...60 с с расходом 0,5 т серией из 5-ти залпов (расход раствора на единицу поверхности при этом будет составлять около 0,1 л/ $m^2$ ).

Ручные тележки с многоствольными модулями более других образцов, в которых реализована Z-технология, пригодны для проведения дезактивации в больницах, госпиталях и других помещениях, где имеется множество отсеков и постоянно присутствуют зараженные люди. Они могут также найти широкое применение в госпиталях, пассажирских судах, на военных кораблях и подводных лодках, в поездах, самолетах и других средствах общественного транспорта. Вручную возимые многоствольные модули и профессиональные распылители будут востребованы военными, силами МЧС и охранными фирмами, особенно защищающими крупные объекты (небоскребы, торговые центры, гостиницы).

Для оснащения всех военнослужащих и сотрудников МЧС средствами индивидуальной быстрой действующей защиты, а также для массовой продажи населению широкий сбыт могут найти мини-распылители, производство которых создала фирма «ЗОЛА». При наличии заказов производство



можно быстро расширить. Профессиональные распылители и мини-распылители для широкого круга пользователей неоднократно проверены с 1980 г. в СССР, на Украине, в России; профессиональные огнетушители — на Украине в 1998–2013 гг., в Эстонии — с 2014 г. Сбыт мини-распылителей может превысить сотни миллионов штук ежегодно.

Профессиональный универсальный распылитель жидкостей и порошков выстрелом был сертифицирован на Украине в 2012 г. Его масса в заряженном состоянии составляет 5,6 кг. Распылитель комплектуется рюкзаком с 10 контейнерами общей массой 11 кг. Перезарядка распылителя контейнерами в виде однолитровых пластиковых легких бутылок, содержащих распылительные патроны (в том числе холостые), дезактивирующие жидкости и гели, пенообразователи, техническую и природную воду, производится за 3...5 с. Распылитель полностью безопасен при эксплуатации и характеризуется высокой эффективностью, стабильностью и безотказностью работы при температурах от –40 до 40 °С, в условиях влажности, запыленности, загрязнения.

Импульсный пневмораспылитель создает струю микрокапель с относительно малой начальной скоростью, кинетической энергией и дальностью не более 1,5 м. При таком распылении неизбежны аэродинамические потери (до 50 % и выше); слаб эффект проникающего напыления в щели, извилистые отверстия; отсутствуют отражения от поверхностей, увеличивающие эффект равномерного

напыления капель на всю поверхность сложной конфигурации. Ручным распылителем трудно или практически невозможно дезинфицировать помещения высотой более 3 м, вроде больниц и общественных центров, где в ряде стран спешно размещаются стационары для больных коронавирусом и палаты, требующие регулярной дезинфекции.

Предлагаемый профессиональный распылитель выстрелом 1 л жидкости создает локальный мощный шквал с быстро расширяющимся фронтом длиной до 1,5...2 м, способным по траектории полета накрыть площадь до 20...30 м<sup>2</sup> и пройти объем до 30...40 м<sup>2</sup> сплошным дезактивационным воздействием.

### Выводы

Предлагаемая техника не имеет близких аналогов в мире, обладает патентной чистотой, защищена советскими, российскими, украинскими патентами. Она находится на начальном этапе своего развития и имеет большие резервы для дальнейшего совершенствования существующих образцов, проектирования и выпуска множества новых вариантов конструкций. Возможности организации производства в России и за рубежом реальны, если их осуществлять с достаточным финансированием по технологии, близкой к производству оружия, на работающих заводах оборонно-промышленного комплекса, изготавливающих реактивные системы, артиллерию и бронетехнику.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слинкин С.В. Реакции и релаксация высоковозбужденных молекул в ударных волнах : монография. Тобольск : ГОУ ВПО «ТГПИ им. Д.И. Менделеева», 2008. С. 179–192.
2. Falkovich G. Fluid mechanics: a short course for physicists. Cambridge University Press, 2011. 180 p. DOI: 10.1017/CBO9780511794353
3. Mahy B.W.J., van Regenmortel M.H.V. (eds.) Desk encyclopedia of general virology. Academic Press, 2009. 672 p.
4. Гапон Д. «Фильтрующиеся вирусы» Открытие в гранях времени // Наука и жизнь. 2015. № 6. С. 38–50.
5. Горячев В.Л., Рутберг Ф.Г., Федюкович В.Н. О некоторых свойствах импульсно-периодического разряда с энергией в импульсе ~ 1 Дж в воде, применяемого для ее очистки // Теплофизика высоких температур. 1996. Т. 34. № 5. С. 757–760.
6. Наука и жизнь : журнал / ред. Е.Л. Лозовская. М. : Наука и жизнь, 2013. № 5. 148 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=239801>
7. Архангельский А.М., Григорьев А.М., Громоздов Г.Г., Наморский Н.М., Нухдин И.Д. Бактериологическое оружие и защита от него. М. : Воениздат, 1971. 210 с.
8. Lawrence C.M., Menon S., Eilers B.J., Bothner B., Khayat R., Douglas T. et al. Structural and functional studies of archaeal viruses // Journal of Biological Chemistry. 2009. Vol. 284. Issue 19. Pp. 12599–12603. DOI: 10.1074/jbc.R800078200
9. Edwards R.A., Rohwer F. Viral metagenomics // Nature Reviews Microbiology. 2005. Vol. 3. Pp. 504–510. DOI: 10.1038/nrmicro1163
10. On an invisible microbe antagonistic toward dysenteric bacilli: brief note by Mr. F. D'Herelle, presented by Mr. Roux // Research in Microbiology. 2007. Vol. 158. Issue 7. Pp. 553–554. DOI: 10.1016/j.resmic.2007.07.005

11. Rosen F.S. Isolation of poliovirus — John Enders and the Nobel Prize // *The New England Journal of Medicine*. 2004. Vol. 351. Pp. 1481–1483. DOI: 10.1056/NEJMp048202
12. Norrby E. Nobel Prizes and the emerging virus concept // *Archives of Virology*. 2008. Vol. 153. Pp. 1109–1123. DOI: 10.1007/s00705-008-0088-8
13. Belay E.D., Schonberger L.B. Transmissible spongiform encephalopathies // *Desk Encyclopedia of Human and Medical Virology*. Academic Press, 2009. Pp. 497–504.
14. Lupi O., Dadalti P., Cruz E., Goodheart C. Did the first virus self-assemble from self-replicating prion proteins and RNA? // *Medical Hypotheses*. 2007. Vol. 69. Issue 4. Pp. 724–730. DOI: 10.1016/j.mehy.2007.03.031
15. Штурма Я. «Немного перебор»: эксперты против дезинфекции улиц // Газета.Ру. 2020. URL: <https://www.gazeta.ru/social/2020/04/15/13049881.shtml>
16. 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.2018.27.5.61-69
17. Shutko V.N., Zakhmatov V.D., Kolganova O.O., Mykolushko A.N. Theoretical bases for the development of chemosensitive detecting surface in technical devices for environment protection // *Electronics and Control Systems*. 2019. Vol. 3. Issue 61. Pp. 68–73. DOI: 10.18372/1990-5548.61.14223
18. Shutko V.N., Zakhmatov V.D., Shutko O.O., Mykolushko A.N. Mathematical and physical models of devices for detection of some chemical substances in the environment // *Electronics and Control Systems*. 2019. Vol. 2. Issue 60. Pp. 84–88. DOI: 10.18372/1990-5548.60.13819
19. Захматов В.Д., Ширинов А.Н. Пожаротушение, предотвращение взрывов, нейтрализация токсичного дыма на подводных лодках // *Оборонно-промышленный потенциал*. 2019. № 4. С. 42–46.
20. Захматов В.Д., Щербак Н.В. Развитие новой техники тушения пожаров радиоактивного леса в Чернобыльской Зоне // *Оборонно-промышленный потенциал*. 2019. № 3. С. 68–71.
21. Захматов В.Д., Турсенев С.А., Онов А.В., Щербак Н.В., Озеров А.В. Развитие радиационно-химической защиты // *Оборонно-промышленный потенциал*. 2019. № 3. С. 72–74.
22. Захматов В.Д., Онов В.А., Щербак Н.В. Анализ экологического ущерба от нефтяных разливов // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2019. № 1 (49). С. 73–80.
23. Захматов В.Д., Чернышов М.В., Щербак Н.В. Технология распыления биосорбентов для масштабной локализации разливов нефти на море и в гаванях (часть 1) // *Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России*. 2017. № 4. С. 37–42.

## REFERENCES

1. Slinkin S.V. *Reactions and relaxation of highly excited molecules in shock waves : monograph*. Tobolsk, GOU VPO “TGPI im. D.I. Mendeleev”, 2008; 179-192. (rus.).
2. Falkovich G. *Fluid Mechanics: A Short Course for Physicists*. Cambridge University Press, 2011; 180. DOI: 10.1017/CBO9780511794353
3. Mahy B.W.J., van Regenmortel M.H.V. (eds.) *Desk Encyclopedia of General Virology*. Academic Press, 2009; 672.
4. Gapon D. “Filterable viruses”. Discovery in the face of time. *Science and Life*. 2015; 6:38-50. (rus.).
5. Goryachev V.L., Rutberg F.G., Fedyukovich V.N. Some properties of pulse-periodic discharge in water with energy per pulse of ~ 1 J for water purification. *High Temperature*. 1996; 34(5):746-749.
6. *Science and Life*: journal / ed. E.L. Lozovskaya. Moscow, Science and Life, 2013; 5:148. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=239801> (rus.).
7. Arkhangel'skiy A.M., Grigoryev A.M., Gromozdov G.G., Namorskiy N.M., Nuzhdin I.D. *Bacteriological weapons and protection against them*. Moscow, Voenizdat, 1971; 210. (rus.).
8. Lawrence C.M., Menon S., Eilers B.J., Bothner B., Khayat R., Douglas T. et al. Structural and Functional Studies of Archaeal Viruses. *Journal of Biological Chemistry*. 2009; 284(19):12599-12603. DOI: 10.1074/jbc.R800078200
9. Edwards R.A., Rohwer F. Viral metagenomics. *Nature Reviews Microbiology*. 2005; 3:504-510. DOI: 10.1038/nrmicro1163
10. On an invisible microbe antagonistic toward dysenteric bacilli: brief note by Mr. F. D'Herelle, presented by Mr. Roux. *Research in Microbiology*. 2007; 158(7):553-554. DOI: 10.1016/j.resmic.2007.07.005

11. Rosen F.S. Isolation of Poliovirus — John Enders and the Nobel Prize. *The New England Journal of Medicine*. 2004; 351:1481-1483. DOI: 10.1056/NEJMp048202
12. Norrby E. Nobel Prizes and the emerging virus concept. *Archives of Virology*. 2008; 153:1109-1123. DOI: 10.1007/s00705-008-0088-8
13. Belay E.D., Schonberger L.B. Transmissible Spongiform Encephalopathies. *Desk Encyclopedia of Human and Medical Virology*. Academic Press, 2009; 497-504.
14. Lupi O., Dadalti P., Cruz E., Goodheart C. Did the first virus self-assemble from self-replicating prion proteins and RNA? *Medical Hypotheses*. 2007; 69(4):724-730. DOI: 10.1016/j.mehy.2007.03.031
15. Shturma Ya. “A bit too much”: Experts against Street Disinfection. *gazeta.ru*. 2020. URL: <https://www.gazeta.ru/social/2020/04/15/13049881.shtml>
16. 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; 27(5):61-69. DOI: 10.18322/pvb.2018.27.5.61-69 (rus.).
17. Shutko V.N., Zakhmatov V.D., Kolganova O.O., Mykolushko A.N. Theoretical bases for the development of chemosensitive detecting surface in technical devices for environment protection. *Electronics and Control Systems*. 2019; 3(61):68-73. DOI: 10.18372/1990-5548.61.14223
18. Shutko V.N., Zakhmatov V.D., Shutko O.O., Mykolushko A.N. Mathematical and physical models of devices for detection of some chemical substances in the environment. *Electronics and Control Systems*. 2019; 2(60):84-88. DOI: 10.18372/1990-5548.60.13819
19. Zakhmatov V.D., Shirshov A.N. Firefighting, prevention of explosions, neutralization of toxic smoke on submarines. *Defense Industrial Potential*. 2019; 4:42-46. (rus.).
20. Zakhmatov V.D., Shcherbak N.V. Development of a new technique for extinguishing fires in a radioactive forest in the Chernobyl Zone. *Defense Industrial Potential*. 2019; 3:68-71. (rus.).
21. Zakhmatov V.D., Tursenev S.A., Onov A.V., Shcherbak N.V., Ozerov A.V. Development of radiation and chemical protection. *Defense Industrial Potential*. 2019; 3.:72-74. (rus.).
22. Zakhmatov V.D., Onov V.A., Shcherbak N.V. Analysis of environmental damage from oil spills. *Problems of Technosphere Risk Management*. 2019; 1(49):73-80. (rus.).
23. Zakhmatov V.D., Chernyshov M.V., Shcherbak N.V. Technology of pulse-pulverization the biosorbents for large-scale liquidation of oil-spills at sea & harbors (part 1). *Vestnik of Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia*. 2017; 4:37-42. (rus.).

Поступила 13.05.2020, после доработки 05.06.2020;

принята к публикации 29.06.2020

Received May 13, 2020; Received in revised form June 5, 2020;

Accepted June 29, 2020

### Информация об авторах

**ЗАХМАТОВ Владимир Дмитриевич**, д-р техн. наук, профессор, профессор научно-организационного отдела, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 852616; Scopus Author ID: 6603327210; ORCID: 0000-0002-1770-8705; e-mail: zet.pulse@gmail.com

**ЧЕРНЫШОВ Михаил Викторович**, д-р техн. наук, профессор кафедры Плазмогазодинамики и теплотехники, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 133164; Scopus Author ID: 13405460000; ResearcherID: F-1991-2010, ORCID: 0000-0001-8297-9993; e-mail: mvcher@mail.ru

**ЩЕРБАК Николай Владимирович**, канд. техн. наук, ведущий конструктор, ООО «ЗОЛА», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-8505-2226; e-mail: vksys.nikolay@gmail.com

### Information about the authors

**Vladimir D. ZAKHMATOV**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of Scientific and Organizational Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 852616; Scopus Author ID: 6603327210; ORCID: 0000-0002-1770-8705; e-mail: zet.pulse@gmail.com

**Mikhail V. CHERNYSHOV**, Dr. Sci. (Eng.), Professor of Plasma-Gas-Dynamics and Heat Engineering Department, Baltic State Technical University “VOENMEH” named after D.F. Ustinov, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 133164; Scopus Author ID: 13405460000; ResearcherID: F-1991-2010; ORCID: 0000-0001-8297-9993; e-mail: mvcher@mail.ru

**Nikolay V. SHCHERBAK**, Cand. Sci. (Eng.), Leading Designer, ZOLA LLC, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-8505-2226; e-mail: vksys.nikolay@gmail.com