

Научная статья
УДК 614.242:662.1
doi: 10.17223/29491665/5/4

Новые способы применения пиротехнических средств вызывания осадков для тушения лесных пожаров

Сергей Викторович Брыксин¹, Артем Константинович Муранов²,
Дмитрий Александрович Киселев³, Наталия Владимировна Судакова⁴,
Светлана Николаевна Бабич⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} АО «ФНИЦ «Научно-исследовательский институт прикладной химии», Сергиев Посад, Россия

¹ niiph@niiph.ru
² muranov@niiph.ru
³ demon2809@mail.ru
⁴ sudakov4n@yandex.ru
⁵ svetlbabich@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены существующие технологии искусственного вызывания осадков, принципы создания аэрозольных пиротехнических составов для активного воздействия на облака и успешные опыты тушения лесных пожаров с помощью пиропатронов ПВ-26М, выстреливаемых с борта самолета. Предлагается способ тушения лесных пожаров с пусковых установок кассетного типа, в том числе без отдачи, установленных на беспилотных летательных аппаратах.

Ключевые слова: аэрозольные пиротехнические составы активного воздействия на облака, льдообразующий реагент, иодид серебра, пиропатрон, беспилотный летательный аппарат

Для цитирования: Брыксин С.В., Муранов А.К., Киселев Д.А., Судакова Н.В., Бабич С.Н. Новые способы применения пиротехнических средств вызывания осадков для тушения лесных пожаров // Технологии безопасности жизнедеятельности. 2024. № 5. С. 27–33. doi: 10.17223/29491665/5/4

Original article
doi: 10.17223/29491665/5/4

New ways of using pyrotechnics for inducing precipitation to extinguish forest fires

Sergey V. Bryksin¹, Artem K. Muranov², Dmitry A. Kiselev³, Natalia V. Sudakova⁴,
Svetlana N. Babich⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} SC «FSPC «Scientific research Institute of applied chemistry», Sergiev Posad, Russian Federation

¹ niiph@niiph.ru
² muranov@niiph.ru
³ demon2809@mail.ru
⁴ sudakov4n@yandex.ru
⁵ svetlbabich@yandex.ru

Abstract. The existing technologies for artificially inducing precipitation, the principles of creating aerosol pyrotechnic compositions for active influence on clouds and successful experiments of extinguishing forest fires using PV-26M cartridges fired from an aircraft are considered. A method is proposed for extinguishing forest fires from cassette-type launchers, including those without recoil, installed on unmanned aerial vehicles.

Keywords: aerosol pyrotechnic compositions for active influence on clouds, ice-forming reagent, silver iodide, pyrocartridge, unmanned aerial vehicle

For citation: Bryksin, S.V., Muranov, A.K., Kiselev, D.A., Sudakova, N.V. & Babich, S.N. (2024) New ways of using pyrotechnics for inducing precipitation to extinguish forest fires. *Tekhnologii bezopasnosti zhiznedejatelnosti – Life Safety / Security Technologies*. 5. pp. 27–33. (In Russian). doi: 10.17223/29491665/5/4

Введение

Подлинным бедствием для природных систем, сельского и лесного хозяйства являются засухи. Обширные территории с недостаточным увлажнением имеются и в России (Поволжье, Калмыкия, Астраханская, Ростовская и Оренбургская области, Восточно-Сибирский регион, Южный Урал, степная часть Краснодарского и Ставропольского краев и др.). Важной особенностью ожидаемых изменений климата является практически повсеместный рост засушливости, сопровождающий процессы потепления.

Помимо негативного влияния дефицита влаги, засухи провоцируют многочисленные трудно поддающиеся тушению лесные пожары.

Лесные пожары наносят значительный ущерб народному хозяйству. Существует много способов их тушения, но не всегда они достигают необходимого эффекта. В России, которая обладает самым крупным в мире запасом лесных богатств, создан комплекс мероприятий, направленных на охрану лесов от пожаров и своевременную их ликвидацию. Однако лесные пожары до настоящего времени все еще остаются распространенным явлением в зоне тайги и других лесных районах.

Если же пожар распространяется на площади более 200 га, то наземными средствами невозможно справиться с огнем. Пожар выходит из-под контроля людей и расширяется все более и более до тех пор, пока его не потушат естественные осадки. Такие пожары могут иногда бушевать в течение нескольких недель и даже месяцев, захватывая огромные площади, нанося ущерб не только лесным массивам, но и населенным пунктам.

Борьба с пожарами – трудное дело, особенно в малонаселенных районах Сибири и Дальнего Востока. В этих районах зачастую наблюдаются затяжные крупные пожары.

Отсутствие эффективных мер борьбы с крупными лесными пожарами потребовало поиска и разработки новых путей решения этой проблемы.

Облака в среднем содержат 1000 т воды в 1 км³. При объеме в десятки кубических километров мощные кучевые облака являются естественными природными кладовыми воды.

Первые лабораторные опыты, положившие начало практической реализации идеи активного воздействия на облака, проводились в нашей стране еще в 1921 г. Витольдом Игнатьевичем Виткевичем. В качестве осадкообразующего реагента он использовал заряженный электрическим потенциалом песок [1]. Новый этап исследовательских и опытных работ наступил после открытия в 1946 г. американскими учеными В. Шефером и Б. Воннегатом свойств твердой

углекислоты и йодистого серебра как наиболее эффективных реагентов для переохлажденных облаков.

Первые опыты по активному воздействию на слоисто-кучевые облака с целью оценки возможности применения искусственных осадков для тушения лесных пожаров были проведены в Советском Союзе в 1966 г. Опыты проводились в июле–августе в Ленинградской области. Осадкообразующие реагенты – йодистый свинец и йодистое серебро – последовательно вводились с помощью ракетницы с борта самолета на высоте 4–4,5 км при температуре облака не выше минус 6 °С. Выпадение осадков наблюдалось через 8–12 мин после их обработки. В 12 опытах из 15 осадки доходили до земли и наблюдались в течение от 15 до 40 мин на площади до 12 км² [2]. Исследования, проведенные в 1967 г., подтвердили возможность вызывания искусственных осадков не только из зимних переохлажденных облаков, но и летних, так называемых теплых.

Первый успешный опыт по тушению лесного пожара вызванными осадками произведен в нашей стране в мае 1968 г. в Хабаровском крае [2].

В качестве средств внесения реагента в облако применяются как наземные установки, так и авиационные устройства.

Основной недостаток наземных средств – никогда нельзя быть уверенным, что частицы реагента попадут в облако.

Авиационная технология предусматривает локальный засев зон, питающих облако влагой, с уровня его основания или вершины.

Одним из наиболее эффективных способов введения реагентов в переохлажденную часть облака с целью вызывания осадков для тушения лесных пожаров является применение специальных пиропатронов, выстреливаемых с борта самолета. Засев облаков производится отстрелом пиропатронов в момент пересечения самолетом вершины облака или пролета над ней.

В 1973 г. в России было принято Постановление Правительства «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов». Оно положило начало разработки научных методов тушения лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками.

В настоящее время практически во всех областях народного хозяйства применяют беспилотные летательные аппараты (БЛА) автоматического или удаленного управления для аэрофотосъемки, мониторинга, съемки сельхозугодий, геофизического сканирования.

Перспективными направлениями использования БЛА в лесном хозяйстве являются мониторинг за распространением пожаров, передача видеoinформации, метеорологические наблюдения за состоянием

атмосферы в зоне пожара, поиск необходимых для вызывания осадков облаков. С помощью беспилотников можно не только получать актуальные сведения о виде пожара, но и использовать их для снаряжения устройствами распыления в облаке частиц реагента для засева зародышей осадков будущего искусственного дождя.

Принципы создания аэрозольных составов для активного воздействия на облака

Основой большинства пиротехнических современных методов воздействия на облака и туманы являются кристаллизирующие аэрозоли, стимулирующие образование в облаках ледяных кристаллов. Практическое применение методов активного воздействия основывается на исследованиях механизма образования конвективных облаков и осадков. Подобные исследования проводились в Советском Союзе с конца 50-х годов прошлого века, и были разработаны физические основы воздействия на конвективные облака с целью предотвращения града и вызывания дополнительных осадков и построены модели кучевых облаков, объясняющие процесс образования осадков и связанные с ними метеорологические явления.

К методам активного воздействия на конвективные облака можно отнести создание в облаке искусственных зародышей града, конкурирующих с естественными за переохлажденную воду, или стимулирование коагуляционных процессов в теплой части облака с последующей кристаллизацией крупных облачных капель [5].

Сущность комбинированного метода заключается в искусственном стимулировании процессов коагуляции в теплой части облака с последующей кристаллизацией образовавшихся крупных капель. Для реализации этого способа воздействия в нижнюю (теплую) часть облака вводят гигроскопический реагент (например, хлорид натрия), а в переохлажденную область – кристаллизирующий реагент. Увеличение концентрации крупных капель должно стимулировать осадки и разрушать нижнюю часть облака, а кристаллизирующий реагент вносится в облако для увеличения концентрации зародышей льда.

Имеются два типа льдообразующих пиротехнических составов (ЛПС): в одних льдообразующий реагент находится в готовом виде, в другом получается в процессе горения состава. Основной величиной, характеризующей эффективность ЛПС, является льдообразующая активность – количество активных центров кристаллизации, полученное с 1 г состава.

Составы первого типа содержат три основных компонента – окислитель, горючее и льдообразующий реагент. Возгонка льдообразующих реагентов с помощью пиротехнических составов имеет ряд преимуществ: возможность получения большого количества активных частиц, простота возгонки и простота доставки реагента в облако. При разработке таких составов особое внимание уделяется выбору льдообразующего реагента. Термические пиротехнические смеси должны обеспечивать оптимальные условия получения активного аэрозоля льдообразующего реагента. Температура горения состава должна быть близка к температуре возгонки льдообразующего реагента. В продуктах горения состава не должно быть веществ, оказывающих дезактивирующее влияние на льдообразующий реагент. Диспергирование льдообразующего реагента пиротехническим способом осуществляется за счет теплоты реакции горения пиротехнического состава. В этом процессе льдообразующий реагент подвергается воздействию высокой температуры и продуктов горения композиции, поэтому к льдообразующим реагентам для термовозгоночных ПС наряду с высокой льдообразующей активностью предъявляются следующие требования:

- способность к термической возгонке без существенного разложения;
- достаточная термостойкость реагента и его паров при повышенной температуре;
- отсутствие реакций взаимодействия с продуктами горения из наиболее эффективных льдообразующих реагентов.

В большей степени указанным требованиям удовлетворяет иодид серебра. В термовозгоночной смеси чаще всего используют органические горючие с активными окислителями.

Пиротехнические составы, при горении которых реагент образуется в результате химического взаимодействия между исходными компонентами, отличаются большим содержанием соединений серебра и низкой льдообразующей активностью. В силу своей химической нестойкости и нетехнологичности подобные композиции практического применения не нашли.

В российской практике активного воздействия на атмосферные процессы применяют ЛПС, содержащие реагенты в готовом виде.

Работы по созданию высокоэффективных составов льдообразующего аэрозоля велись в АО «ФНПЦ «НИИ прикладной химии»» с начала 50-х годов.

Первые пиротехнические составы содержали от 40 до 50% йодистого серебра. Из-за дефицита и высокой стоимости йодида серебра проводились работы по созданию пиротехнических составов с более деше-

вым и доступным реагентом. Им стал, после тщательного анализа экспериментальных данных, йодистый свинец. Разработанные составы содержали от 50 до 60% йодида свинца и довольно активно использовались до 1980 г. Токсичность этого компонента заставила разработчиков ЛПС продолжить поиск других пиротехнических смесей. Детальное исследование возможностей более эффективного использования йодистого серебра позволило формировать рецептуры с оптимальными условиями генерирования льдообразующего реагента и последовательным уменьшением его содержания при сохранении льдообразующей активности в целом.

Результатом работ является состав 50-04-11 с 2%-ным содержанием йодида серебра. Данный состав был признан наиболее эффективным в мировой практике активных воздействий. По своей активности и быстрдействию он существенно превосходил лучший американский аналог. Состав 50-04-11 нашел широкое применение при работах по искусственному вызыванию осадков в авиационных пиротехнических средствах [6].

Кроме йодидов свинца и серебра, испытывались и другие неорганические вещества, в том числе соединения меди – сульфид меди, селенид меди, оксид меди; серебра – сульфид серебра, оксид серебра, нитрат серебра, но большинство из них оказались недостаточно эффективными. Также испытывались многие органические вещества, флороглюцин, метальдегид, ацетилацетонат меди и др. Основным недостатком органических соединений является сложность получения из них высокодисперсных аэрозолей тепловой возгонкой.

Технологии искусственного вызывания осадков

В основе воздействия на облака с целью вызывания осадков лежит использование неустойчивости фазового состояния атмосферной влаги, значительные объемы которой длительное время существуют в атмосфере в виде переохлажденной жидкокапельной субстанции.

Зародышами частиц осадков в естественных условиях выступают ледяные кристаллы. Они попадают в переохлажденную часть облака из вышележащих слоев того же облака при условии, что его вершина выросла до уровня температуры, при которой происходит самопроизвольное замерзание переохлажденных облачных капель, или образуются в облаке при столкновении переохлажденных облачных капель с присутствующими в атмосфере ядрами кристаллизации.

Естественных зародышей частиц осадков, как правило, все же недостаточно для реализации всех пере-

охлажденных капель в частицы осадков. Поэтому не реализовавшиеся переохлажденные капли постепенно испаряются на боковой границе облака.

Искусственное введение в облако дополнительных зародышей позволяет снизить эти «непроизводительные» потери облачной влаги и повысить эффективность облака как источника осадков.

Многолетний опыт испытаний показывает, что для обеспечения осадковывывания концентрация частиц льдообразующего аэрозоля должна составлять более 10^7 м^{-3} .

Метеорологические наблюдения за состоянием атмосферы в зоне пожара показали, что над пожаром часто появляются мощные конвективные облака, не дающие естественных осадков. Но достаточно ввести в облако специальные вещества-реагенты, обеспечивающие зарождение в нем ледяных частиц, и можно успешно вызвать интенсивные осадки.

Разработанные в настоящее время технологии искусственного вызывания осадков из конвективных облаков могут быть реализованы с помощью различных средств [7]:

- наземных генераторов, в основном эта технология применяется в европейских странах и Латинской Америке;
- авиационных бортовых генераторов и отстреливаемых пиропатронов;
- противорадиолокационных ракет.

Методы воздействия отличаются друг от друга способом доставки льдообразующего реагента до цели.

Засев приземного слоя атмосферы частицами льдообразующего реагента с помощью наземных генераторов не может гарантировать, что конвективные потоки занесут кристаллизующие частицы в требуемые области облаков, поэтому эффективность этого метода составляет 41–44%.

Ракетная технология может обеспечить оперативную доставку требуемого количества реагента непосредственно в нужную часть облака.

Авиационная технология предусматривает локальный засев зон, питающих облако влагой с уровня его основания или вершины.

Одним из способов введения реагентов в переохлажденную часть облака является применение специальных пиропатронов, выстреливаемых с борта самолета или самолетных генераторов.

Самолетный генератор состоит из металлической гильзы, пироэлемента, воспламенительного устройства и втулки. Пироэлемент содержит оболочку со вставленной в нее бумажной трубкой и запрессованным составом. Дымовыводное отверстие закрыто фольгой. При подаче электрического напряжения на

воспламенительное устройство от пускового устройства кассеты электровоспламенитель задействует состав льдообразующего действия. Под действием давления от горения состава вскрывается фольга на отверстиях втулки, и льдообразующий аэрозоль выходит в атмосферу. При этом образуется трасса высокодисперсного аэрозоля льдообразующего реагента.

Технические характеристики самолетных генераторов представлены в табл. 1.

Засев облаков частицами аэрозоля при отстреле пиропатронов производится в момент пересечения самолетом вершины облака или пролета над ней. Для этих целей в АО «ФНПЦ “НИИ прикладной химии” разработаны пиропатроны ПВ-26 и ПВ-50, обеспечивающие высокий выход активных ядер кристаллизации. При воздействии на конвективные облака один самолет в течение одного полета может успешно выполнить засев облачных скоплений на площади до 25 тыс. км².

Таблица 1

Технические характеристики самолетных генераторов

Характеристика	Генератор САГ-26	Генератор САГ-ПМ
Калибр, мм	26	50
Длина, мм	260	236
Масса, кг	0,47	0,76
Время работы, с	70	175
Выход активного аэрозоля, л/г	1,0×10 ¹³	

Патрон состоит из металлической гильзы, генератора с составом льдообразующего действия 50-04-11, вышибного заряда из дымного ружейного пороха. В гнездо нижней части гильзы установлен электровоспламенитель. Принцип действия патрона: при подаче электрического напряжения на электровоспламенитель пускового устройства, инициирующий состав электровоспламенителя воспламеняет порох вышибного заряда. Пороховые газы выталкивают гене-

ратор из гильзы и воспламеняют состав льдообразующего действия. Продукты сгорания состава льдообразующего действия истекают через центральное отверстие диафрагмы. При этом в атмосфере при свободном падении пирозлемента образуется трасса высокодисперсного аэрозоля льдообразующего реагента, который воздействует на переохлажденные облака, вызывая осадки. Характеристики патронов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики самолетных пиротехнических патронов ПВ-50-95, ПВ-26-95, ПВ-26-01 и генератора САГ-ПМ

Характеристика	ПВ-50-95	ПВ-26-95	ПВ-26-01	САГ-ПМ
Калибр, мм	50	26	26	50
Длина, мм	200	78	78	236
Масса, г	650	80	80	760
Масса заряда генератора, г	210	40	40	150
Льдообразующий реагент, содержание в % к массе заряда	AgJ, 2	AgJ, 4	AgJ, 8	AgJ, 8
Длина трассы льдообразующего аэрозоля, км	2,5	1,0	2,0	7,5
Тип кассетного устройства	КДС-155	АСО-2И	АСО-2И	КУСАГ-ПМ
Тип используемых самолетов		ИЛ-18, АН-72, АН-12, АН-26 (АН-30), М-101Т «Гжель»		АН-26 (АН-30)
Температурный диапазон применения, °С	±40			
Выход льдообразующих аэрозолей с генератора, не менее:				
при температуре –6 °С	10 ¹⁴	2·10 ¹³	5×10 ¹⁴	8,3×10 ¹⁴
при температуре –10 °С	10 ¹⁵	5×10 ¹⁴	10 ¹⁵	3,75×10 ¹⁵
Время работы генератора, с	150	50	70	175

Одним из примеров применения осадковывзывающих средств, в частности, патрона ПВ-26М для тушения лесных пожаров, является их использование летом 2021 г. в Республике Саха – Якутия. В интервью газете «Коммерсант» от 27.07.2021 г. глава республики отметил, что самолет-лаборатория для искусственного вызывания осадков АН-26 «Циклон» работал в Якутии все лето во многих районах, когда хоть какая-то облачность появлялась, удавалось вызывать

дожди, которые сбивали пожары и давали передышку для их локализации.

АО «ФНПЦ “НИИ прикладной химии” предлагает использовать в качестве средства доставки и запуска осадковывзывающих средств беспилотные летающие аппараты (БЛА) с массой полезной нагрузки до 10 кг и высотой подъема не менее 6 км. В качестве устройств выброса могут быть использованы как штатные системы отстрела, так и разработанная в АО «ФНПЦ

“НИИ прикладной химии” установка отстрела кассетного типа, не создающая отдачи в момент запуска. Помимо штатных средств введения в облако реагента, могут применяться патроны и самолетные генераторы других калибров. Применение БЛА кроме значительного снижения стоимости работ по искусственному вызыванию осадков имеет ряд других преимуществ:

- мобильность использования. Не требуется специально оборудованных взлетно-посадочных полос;
- простота управления. Не требуется специально обученный летный состав, достаточно навыков оператора БЛА;

- возможность использования одновременно нескольких БЛА, в том числе и в различных регионах;
- возможность применения различных БЛА в зависимости от текущей метеорологической ситуации.

Расчеты показывают, что при применении БЛА с полезной нагрузкой 10 кг протяженность обрабатываемых облаков изделиями типа ПВ-26М может составлять до 80 км. При средней продолжительности осадков 30 мин и движении облака со скоростью 50 км/ч площадь выпадения осадков от 1 патрона составит не менее 25 км², соответственно, при запуске 200 патронов площадь выпадения осадков составит ориентировочно 5 000 км². При использовании изделий других калибров площадь вызывания осадков может быть увеличена до 1,5 раз.

Большое значение имеет предупреждение лесных пожаров. Для своевременного обнаружения возгораний на предельно малых площадях уже используются БЛА. Снаряжение беспилотников соответствующим оборудованием позволит своевременно ликвидиро-

вать небольшие пожары и проводить профилактические увлажнения пожароопасных территорий. Как сообщает газета «Аргументы и факты» от 11.08.2022 г., подобный эксперимент успешно был проведен в Республике Саха – Якутия в мае 2022 г., что позволило в последующем в 5 раз снизить количество пожаров в этом году по сравнению с 2021 г.

Тушение пожаров искусственно вызываемыми осадками имеет самые широкие перспективы их применения в охране лесов от пожаров.

АО «ФНПЦ “НИИ прикладной химии” имеет необходимый уровень компетенций как для разработки новых пиротехнических средств для вызывания осадков, так и необходимую производственную базу для серийного изготовления осадковывзывающих патронов в количестве до 1 млн шт. в год.

Заключение

В этой работе рассмотрены существующие технологии искусственного вызывания осадков и механизм повышения эффективности облака как источника осадков с помощью аэрозольных пиротехнических составов на основе йодида серебра.

Для тушения лесных пожаров успешно используется авиационная технология с отстреливанием патронов ПВ-26М.

Применение беспилотных летательных аппаратов позволит значительно снизить стоимость работ, повысить мобильность и оперативность проводимых противопожарных и профилактических операций.

Список источников

1. Виткевич В.И. Научные исследования атмосферы. М., 1923. Вып. 1. 107 с.
2. Арцыбашев Е.С. Тушение лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками из облаков. М. : Лесная промышленность, 1973. 87 с.
3. Вернидуб И.И., Жихарев А.С., Сулаквелидзе Г.К. и др. Исследование льдообразующих свойств йодистого свинца // Известия АН СССР. Сер. Геофизическая. 1962. № 9. С. 1286–1293.
4. Плауде Н.О., Соловьев А.Д. Льдообразующие вещества [обзор]. Обнинск : ОНТИ (Мировой центр данных), 1972. 42 с.
5. Вареных Н.М. [и др.] Основы современной пиротехники : учебник : в 2 ч. Ч. 1. Казань : Изд-во КНИТУ, 2014. 502 с.
6. Силин Н.А., Несмеянов П.А. Состояние разработок и применение ПС, средств для активного воздействия на облака и туманы. М. : ЦНИИИТИ, 1982. 91 с.
7. Вареных Н.М. [и др.] Основы современной пиротехники : учебник : в 2 ч. Ч. 2. Казань : Изд-во КНИТУ, 2014. 454 с.

References

1. Vitkevich, V.I. (1923) *Nauchnye issledovaniia atmosfery. Moskovskaia aerologicheskaiia Observatoriia* [Scientific research of the atmosphere. Moscow Aerological Observatory]. Issue 1. Moscow.
2. Artsybashev, E.S. (1973) *Tushenie lesnykh pozharov iskusstvenno vyzvaemymi osadkami iz oblakov* [Extinguishing forest fires with artificially inducing precipitation from clouds]. Moscow : Lesnaia promyshlennost.
3. Vernidub, I.I., Zhikharev, A.S., Sulakvelidze, G.K. & et al. (1962) *Issledovanie l'doobrazuiushchikh svoistv iodistogo svintsa* [Study of ice-forming properties of lead iodide]. *Izvestiia AN SSSR. Serija Geofizicheskaiia*. 9. pp. 1286–1293.
4. Plaude, N.O. & Solov'ev, A.D. (1972) *L'doobrazuiushchie veshchestva* [Ice-forming substances] : a review. Obninsk.: ONTI (Mirovoi tsentr dannyykh).
5. Varenikh, N.M. (2014) *Osnovy sovremennoi pirotekhniki* [Basics of contemporary pyrotechnics]. Textbook. Part. 1. Kazan : Izd-vo KNITU.

6. Silin, N.A. & Nesmeianov, P.A. (1982) *Sostoianie razrabotok i primenenie PS, sredstv dlia aktivnogo vozdeistviia na oblaka i tumany* [State of development and application of PS, means for active influence on clouds and fogs]. Moscow : TsNIINTI.
7. Varenikh, N.M. & et al. (2014) *Osnovy sovremennoi pirotekhniki* [Basics of contemporary pyrotechnics]. Textbook. Part. 2. Kazan : Izd-vo KNITU.

Информация об авторах:

Брыксин Сергей Викторович – кандидат технических наук, заместитель генерального директора, главный конструктор по пиротехническим средствам военного назначения АО «ФНПЦ “Научно-исследовательский институт прикладной химии”» (Сергиев Посад, Россия). E-mail: niiph@niiph.ru

Муранов Артем Константинович – кандидат юридических наук, генеральный директор АО «ФНПЦ “Научно-исследовательский институт прикладной химии”» (Сергиев Посад, Россия). E-mail: muranov@niiph.ru

Киселев Дмитрий Александрович – руководитель направления «Активно-реактивные выстрелы» АО «ФНПЦ “Научно-исследовательский институт прикладной химии”» (Сергиев Посад, Россия). E-mail: demon2809@mail.ru

Судакова Наталья Владимировна – инженер-технолог 1-й категории АО «ФНПЦ “Научно-исследовательский институт прикладной химии”» (Сергиев Посад, Россия). E-mail: sudakov4n@yandex.ru

Бабич Светлана Николаевна – инженер-конструктор 1-й категории АО «ФНПЦ “Научно-исследовательский институт прикладной химии”» (Сергиев Посад, Россия). E-mail: svetlbabich@yandex.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Bryksin Sergey V., Cand. Sc. (Engineering), Deputy General Director – Chief Designer for Military Pyrotechnics, JSC “FSPC “Scientific Research Institute of Applied Chemistry” (Sergiev Posad, Russian Federation). E-mail: niiph@niiph.ru

Muranov Artem K., Cand. Sc. (Law), General Director, JSC “FSPC “Scientific Research Institute of Applied Chemistry” (Sergiev Posad, Russian Federation). E-mail: muranov@niiph.ru

Kiselev Dmitry A., Head of the Department “Active-reactive shots”, JSC “FSPC “Scientific Research Institute of Applied Chemistry” (Sergiev Posad, Russian Federation). E-mail: demon2809@mail.ru

Sudakova Natalia V., 1st Category Industrial Engineer, JSC “FSPC “Scientific Research Institute of Applied Chemistry” (Sergiev Posad, Russian Federation). E-mail: sudakov4n@yandex.ru

Babich Svetlana N., 1st Category Design Engineer, JSC “FSPC “Scientific Research Institute of Applied Chemistry” (Sergiev Posad, Russian Federation). E-mail: svetlbabich@yandex.ru

The authors declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.03.2024; одобрена после рецензирования 08.04.2024; принята к публикации 16.05.2024

The article was submitted 25.03.2024; approved after reviewing 08.04.2024; accepted for publication 16.05.2024