

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.391>

УДК 614.845.1

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПОРОШКОВОГО ОГNETУШИТЕЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДАЧИ ОГNETУШАЩЕГО ПОРОШКА

Журов М.М., Бобрышева С.Н., Короткевич С.Г., Черный Ю.С.

*Цель.* Оптимизировать конструкцию порошкового огнетушителя, исследовать параметры подачи огнетушащего порошка, провести натурные испытания.

*Методы.* Экспериментальное определение текучести и остатка огнетушащего порошка в баллоне огнетушителя после его использования. Теоретические исследования значения потерь давления перед насадком-распылителем и дальности струи порошка.

*Результаты.* Получены зависимости текучести огнетушащего порошка и давления перед насадком-распылителем от времени истечения огнетушащего заряда. Установлены средние значения текучести огнетушащего порошка и давления перед насадком-распылителем для исходной и оптимизированной конструкции порошкового огнетушителя. Предложена конструкция огнетушителя, которая позволяет эффективно использовать весь огнетушащий порошок, рассчитаны потери давления в конструкции с сифонной трубкой. По функциям давления и текучести перед насадком-распылителем установлено, что в предлагаемой конструкции огнетушителя без увеличения исходного рабочего давления в баллоне при увеличении подачи огнетушащего порошка дальность его струи также увеличивается. Рассчитаны значения потерь давления в сифонной трубке. Практически доказана эффективность предлагаемой конструкции порошкового огнетушителя.

*Область применения исследований.* Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации конструкции порошкового огнетушителя.

*Ключевые слова:* порошковый огнетушитель, текучесть, остаток порошка, сифонная трубка, потери давления, насадок-распылитель, дальность струи.

(Поступила в редакцию 7 октября 2019 г.)

**Введение.** Впервые огнетушащий порошковый состав (алюминиевые квасцы  $\text{AlNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) был применен в г. Эслинген (Eßlingen, Германия) [1]. В дальнейшем рецептура и технологии подачи огнетушащих порошковых составов подверглись значительному совершенствованию. В настоящее время огнетушащие порошковые составы являются универсальным эффективным огнетушащим веществом<sup>1</sup>. Это обусловлено их высокой огнетушащей способностью и универсальностью применения как по видам пожаров, так и по температурному диапазону, а также способностью огнетушащих порошковых составов длительное время сохранять свои свойства при хранении.

Для подачи порошковых огнетушащих составов широко применяются огнетушители различных объемов. При этом наибольшая эффективность применения огнетушителя достигается на первоначальном этапе развития пожара. Площадь тушения пожара зависит от таких параметров, как дальность и количество подаваемого огнетушащего порошка. Для повышения эффективности тушения пожара требуется совершенствование параметров подачи огнетушащего порошка. Существующие конструкции порошковых огнетушителей не позволяют использовать весь огнетушащий заряд, при этом остаток может составлять<sup>2</sup> до 10 мас. %. В связи с этим является актуальным исследование параметров подачи огнетушащих порошковых составов и эффективное использование всего заряда огнетушителя.

<sup>1</sup> Огнетушащие порошки // Виды, состав, преимущества, недостатки, утилизация, регенерация [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://fireman.club/statti-polzovateley/ognetushaahhie-poroshki.html>. – Дата доступа: 27.09.2019.

<sup>2</sup> Система стандартов пожарной безопасности. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний: СТБ 11.12.01-2009. Введ. 01.07.2009 (с отменой на территории РБ НПБ 13-2000). – Минск: НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2009. – 24 с.

**Основная часть.** Оптимизацию конструкции порошкового огнетушителя нами предлагается провести по количеству используемого огнетушащего заряда. Основными конструкционными элементами данных огнетушителей являются: стальной баллон с огнетушащим веществом под давлением, запорно-пусковое устройство с манометром, сифонной трубкой и соплом (шлангом с распылительным соплом на конце). Подача огнетушащего вещества из огнетушителя осуществляется через сифонную трубку, конструкционная особенность которого не обеспечивает полный выход порошка. Проведенные нами испытания огнетушителя с запасом огнетушащего порошка массой 2 кг (далее ОП-2) в соответствии с действующей методикой СТБ 11.12.01-2009 подтвердили, что существующая конструкция порошковых огнетушителей не обеспечивает полный выброс огнетушащего заряда (табл. 1).

**Таблица 1. – Результаты испытаний выброса огнетушащего порошка**

№ испытания	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$m_3$ , кг	$m_4$ , кг
1	3,28	1,52	1,38	1,19
2	3,23	1,43	1,37	1,19
3	3,20	1,35	1,36	1,19
Среднее значение	3,24	1,43	1,37	1,19

*Примечание.*  $m_1$  – масса огнетушителя с порошком;  $m_2$  – масса огнетушителя с остатком порошка после выпуска в течение 6 с;  $m_3$  – масса огнетушителя с остатком порошка (после полного выпуска);  $m_4$  – масса огнетушителя без порошка.

Для определения средних значений текучести  $T_{cp}$  и остатка  $O_{cp}$  огнетушащего порошка нами использовалась методика СТБ 11.12.01-2009, основанная на истечении огнетушащего порошка через насадок-ороситель за фиксируемое время. Исходное давление в баллоне составляло 1,4 МПа. По результатам трех испытаний ОП-2 средние значения указанных параметров составили  $T_{cp} = 0,30$  кг/с и  $O_{cp} = 8,79$  % (табл. 2).

**Таблица 2. – Значения текучести и остатка огнетушащего порошка**

№ испытания	Текучесть ( $T$ ), кг/с	Остаток ( $O$ ), %
1	0,29	9,10
2	0,30	8,82
3	0,31	8,46
Среднее значение	0,30	8,79

Полученные результаты значений текучести и остатка огнетушащего порошка соответствуют установленным требованиям СТБ 11.12.01-2009. Вместе с тем количество остатка огнетушащего порошка в пересчете на массу составляет 0,18 кг, что весьма значимо для огнетушителя с запасом заряда порошка массой 2 кг как с точки зрения эффективности тушения, так и экономии средств.

С целью повышения эффективности тушения пожаров нами разработана модель огнетушителя, конструкция которого позволяет без снижения огнетушащей способности обеспечить требуемый расход для тушения и повысить экономический эффект от его применения. Принцип его работы заключается в подаче огнетушащих порошков через конoidalный насадок в дне баллона, без использования вертикальной сифонной трубки. На рисунке 1а представлена конструкция серийно выпускаемого огнетушителя, а на рисунке 1б – разработанного модельного огнетушителя. Также на рисунке 1 показаны направления движения порошкового состава при приведении огнетушителей в действие.

Предложенная нами конструкция модельного огнетушителя исключает использование сифонной трубки, которая выполняет функцию внутреннего цилиндрического насадка (насадок Борда). Главная ее функциональная значимость заключается в обеспечении выхода огнетушащего порошка из баллона, а также направленного действия движущей силы сжатого газа и в исключении прямого выхода рабочего заряда сжатого газа огнетушителя в атмосферу при открытии запорно-пускового устройства. При этом применение сифонной

трубки имеет ряд недостатков: она не только не обеспечивает выход всего запаса порошка, но и приводит к уменьшению интенсивности подачи огнетушащего вещества за счет дополнительных потерь (рис. 2), возникаемых при прохождении порошка через нее.

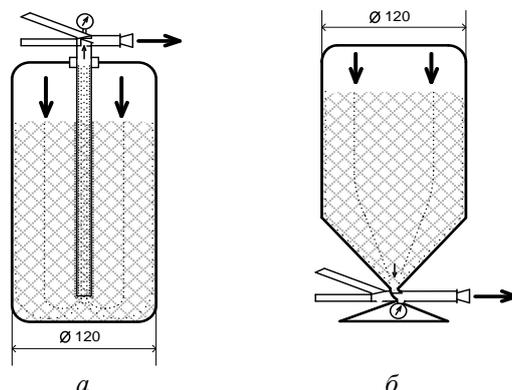


Рисунок 1. – Общий вид конструкции стандартного (а) и модельного (б) порошковых огнетушителей

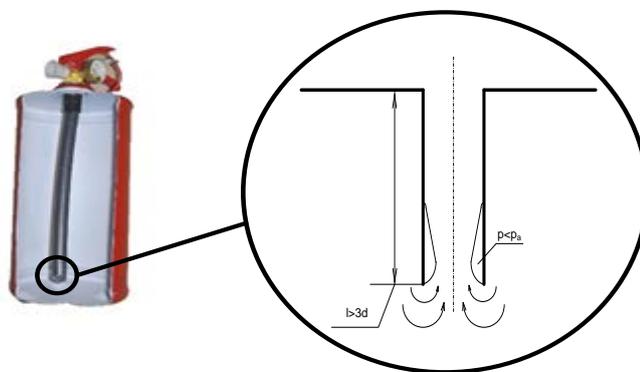


Рисунок 2. – Вид вертикальной сифонной трубки порошкового огнетушителя<sup>3</sup>

Вместе с тем исключение сифонной трубки требует альтернативного решения, позволяющего не менее эффективно использовать огнетушащий заряд.

В качестве такого решения нами предлагается конструкцией модельного огнетушителя предусмотреть выход порошка из нижней части баллона через штуцер запорно-пускового устройства (рис. 1б). Известно, что округление входной кромки насадка уменьшает сопротивление движения вещества и увеличивает его пропускную способность [2]. Поэтому для увеличения интенсивности истечения огнетушащих порошков предлагается округлить входную кромку цилиндрического отверстия таким образом, чтобы данное отверстие представляло собой коноидальный насадок (рис. 3).

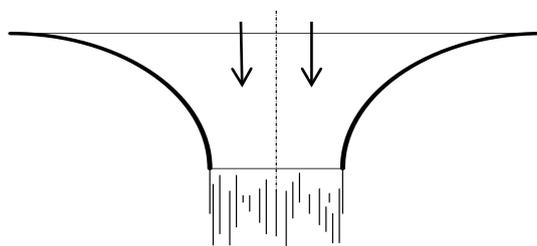


Рисунок 3. – Коноидальный насадок

<sup>3</sup> Огнетушитель // Конструкция порошкового огнетушителя [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://vidsyst.ru/zashhita/ognetushiteli/poroshkovye/op-3.html>. – Дата доступа: 11.06.2019.

Порошковые огнетушащие составы обладают хорошей текучестью. Такая текучесть обеспечивает требуемую интенсивность подачи порошка, которая в комплексе с другими свойствами эффективно действует на прекращение реакции горения.

Известен экспериментальный метод определения текучести порошковых материалов с помощью прибора Холла, в котором для определения текучести используется калиброванная воронка<sup>4</sup>. Суть метода заключается в определении истечения пробы порошка через калиброванную воронку за фиксируемое время. При этом время истечения порошков зависит и от угла конуса воронки. На основании вышеизложенного нами предлагается баллон модельного огнетушителя в нижней части выполнять в форме конуса, что позволит не только быстрее подавать огнетушащий порошок, но и использовать весь его заряд. Для проведения исследований параметров текучести  $T$  и остатка порошка  $O$  в огнетушителе с предлагаемой конструкцией изготовлена модель огнетушителя, принципиальная конструкция которого представлена на рисунке 1б.

Таким образом, подача порошка в модельном огнетушителе осуществляется через расположенный на вершине конуса коноидальный насадок. Объем оптимизированного баллона равен объему исходного баллона и составляет 2,5 л. Испытания на текучесть и остаток порошка также проводили по действующей методике СТБ 11.12.01-2009. При этом исходное давление в баллоне составляло 1,4 МПа, результаты испытаний представлены в таблице 3.

**Таблица 3. – Результаты испытаний выброса огнетушащего порошка**

№ испытания	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$m_3$ , кг	$t$ , с
1	3,12	1,06	1,06	5,8
2	3,09	1,06	1,06	6,0
3	3,09	1,06	1,06	5,8
Среднее значение	3,10	1,06	1,06	5,9

*Примечание.*  $m_1$  – масса огнетушителя с порошком;  $m_2$  – масса огнетушителя с остатком порошка после выпуска в течение 6 с;  $m_3$  – масса огнетушителя без порошка.

Определения средних значений текучести  $T_{\text{ср}}$  и остатка  $O_{\text{ср}}$  огнетушащего порошка в модельном ОП-2 проводили также по вышеуказанной методике СТБ 11.12.01-2009, результаты представлены в таблице 4.

**Таблица 4. – Значения текучести и остатка огнетушащего порошка**

№ испытания	Текучесть ( $T$ ), кг/с	Остаток ( $O$ ), %
1	0,36	0
2	0,34	0
3	0,35	0
Среднее значение	0,35	0

По итогам трех испытаний средние значения параметров, указанных в таблице 4, соответственно составили  $T_{\text{ср}} = 0,35$  кг/с и  $O_{\text{ср}} = 0$  %. Сравнительный анализ результатов проведенных экспериментов (табл. 1–4) позволил установить, что предлагаемая конструкция корпуса огнетушителя позволяет не только эффективно использовать весь запас огнетушащего вещества, но и увеличить интенсивность подаваемого на тушение огнетушащего порошка. Таким образом, по количеству используемого запаса огнетушащего порошка полученная модель огнетушителя является оптимальной.

Известно, что при недостаточной дальности подачи огнетушащего порошка огнетушителя не обеспечивается эффект тушения пожара. Проведенные исследования показали, что конструкция модельного огнетушителя позволяет увеличить подачу огнетушащего по-

<sup>4</sup> Порошки металлические. Определение текучести с помощью калиброванной воронки (прибора Холла): ГОСТ 20899-98. – Введ. 30.06.2001 (взамен ГОСТ 20899-75). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 10 с.

рошка за единицу времени при одинаковом давлении в баллоне и при одинаковых параметрах насадка-оросителя. В свою очередь, дальность подачи огнетушащего вещества напрямую зависит от давления перед насадком-распылителем. На основе этого нами сделано предположение, что и дальность подачи струи огнетушащего порошка из модельного огнетушителя по сравнению с исходным увеличивается. Для подтверждения произведен теоретический расчет значений давления перед насадком-распылителем в исходном и модельном огнетушителях. Сравнение изменений давления перед насадком-распылителем до и после оптимизации конструкции огнетушителя проводили по средним значениям давлений, рассчитанных по формуле:

$$Q_{cp} = k\sqrt{P_{cp}}, \quad (1)$$

где  $Q_{cp}$  – средний расход через насадок-распылитель;  $k$  – это  $k$ -фактор насадка-распылителя;  $P_{cp}$  – среднее давление перед насадком-распылителем.

Средние расходы огнетушащего порошка через насадок-распылитель принимали равным средним значениям текучести ( $Q_{cp} = T_{cp}$ ), представленным в таблицах 2 и 4. Т. к. при исследовании параметров истечения огнетушащего порошка из исходного и оптимизированного огнетушителя использовался одинаковый насадок-распылитель, следовательно, значение  $k$ -фактора насадка-распылителя в обоих случаях одинаково. С учетом этого и установленных средних значений текучести  $Q_{cp1}$  – при стандартной конструкции огнетушителя и  $Q_{cp2}$  – при оптимизированной из формулы 1 следует:

$$\frac{Q_{cp1}^2}{Q_{cp2}^2} = \frac{P_{cp1}}{P_{cp2}} = \frac{P_{cp2} - P_x}{P_{cp2}}, \quad (2)$$

где  $P_x$  – средние потери давления в сифонной трубке;  $P_{cp1}$  – давления перед насадком-распылителем в серийно-изготавливаемом огнетушителе;  $P_{cp2}$  – давления перед насадком-распылителем в оптимизированном огнетушителе.

Среднее значение давления перед насадком-распылителем в модельном огнетушителе рассчитывали по значению изменения давления перед ним за время истечения огнетушащего порошка (6 с). При доверительной вероятности 95 % относительные погрешности абсолютных значений давления не превышали 5 %, результаты представлены на рисунке 4.

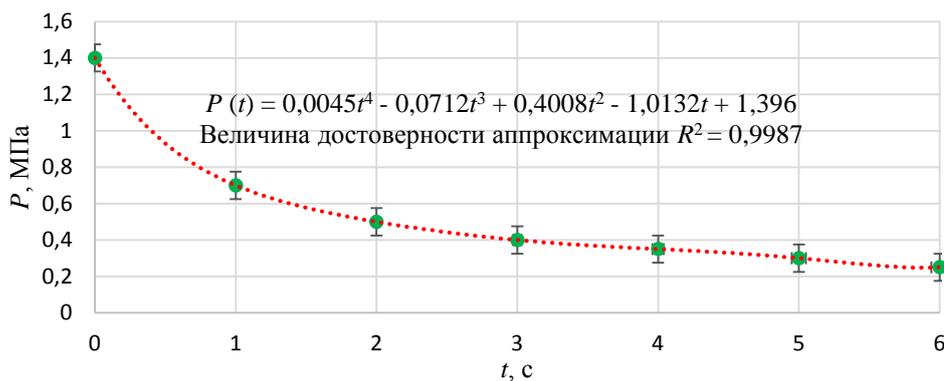


Рисунок 4. – Изменение давления перед насадком-распылителем

С учетом полученной полиномиальной функции, описывающей зависимость давления от времени истечения огнетушащего порошка в опимизированном огнетушителе, рассчитано среднее значение давления перед насадком-распылителем:

$$P_{cp2} = \frac{1}{6} \int_0^6 P(t) dt = 0,49 \text{ МПа}. \quad (3)$$

Из формулы (2) выражаем  $P_x$ :

$$P_x = P_{cp2} \left( 1 - \frac{Q_{cp1}^2}{Q_{cp2}^2} \right). \quad (4)$$

Получаем, что среднее значение потерь давления в сифонной трубке составляет  $P_x = 0,13$  МПа. Проведенные расчеты показывают, что предлагаемая конструкция огнетушителя по сравнению со стандартной позволяет увеличить текучесть огнетушащего порошка через насадок-распылитель до 16 % ( $T_{cp2} / T_{cp1} = 0,35 / 0,30$ ) при одинаковом исходном давлении в баллоне ( $P_{исх} = 1,4$  МПа). При этом давление перед насадком-распылителем увеличивается ( $P_{cp2} > P_{cp1}$ ) на  $P_x = 0,13$  МПа, рисунок 5.

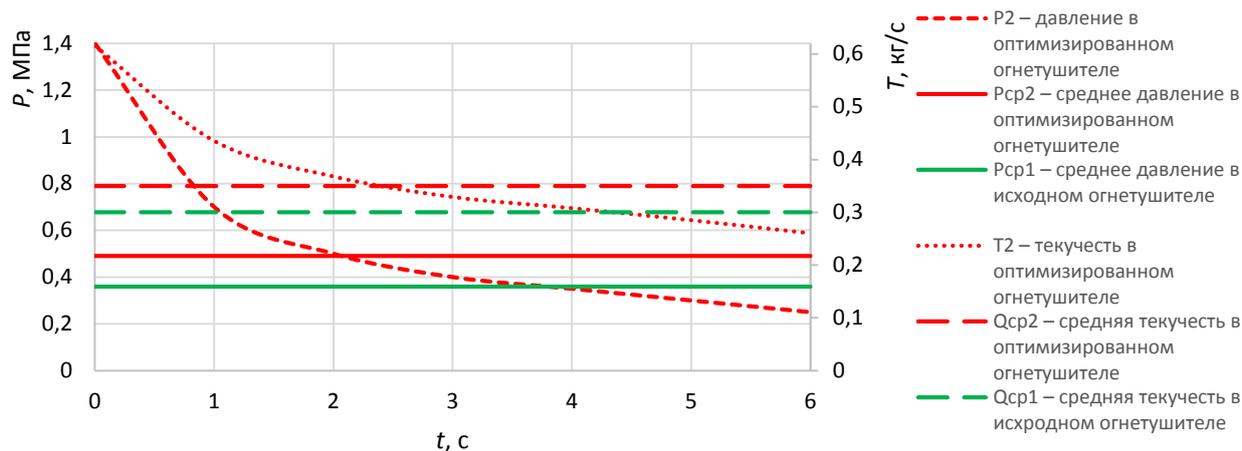


Рисунок 5. – Значение параметра давления перед насадком-распылителем

Преимуществом предлагаемой конструкции является то, что она обеспечивает полный выброс запаса огнетушащего порошка. При этом увеличивается интенсивность подачи огнетушащего вещества без увеличения давления в баллоне и потери дальности подачи. Как следует из рисунка 5, среднее значение текучести порошка увеличивается от 0,30 до 0,35 кг/с, а среднее значение давления перед насадком-распылителем увеличивается от 0,36 до 0,49 МПа. Таким образом, конструкция модельного огнетушителя позволяет уменьшить потери давления до 0,13 МПа, что приводит к увеличению давления перед насадком-распылителем. Следовательно, предлагаемая конструкция огнетушителя позволяет увеличить дальность струи огнетушащего порошка без увеличения давления в баллоне. Для экспериментального определения эффективности работы модельного огнетушителя с оптимизированной конструкцией, проведены успешные испытания по тушению модельного очага 21В по стандартной методике<sup>5</sup>. Проведенные испытания показали эффективность предлагаемой конструкции огнетушителя при тушении модельного очага 21В. Для комплексной оценки эффективности тушения модельным огнетушителем в дальнейшем нами планируются испытания по тушению модельного очага 1А.

**Заключение.** Проведена оптимизация конструкции порошкового огнетушителя, позволяющая эффективно использовать весь огнетушащий порошок, исключив при этом потери давления в сифонной трубке. Получены зависимости текучести огнетушащего порошка и давления перед насадком-распылителем от времени истечения огнетушащего заряда для оптимизированной конструкции ОП-2. Установлено, что средние значения текучести огнетушащего порошка для исходной и оптимизированной конструкции порошкового огнетушителя составляют 0,30 и 0,35 кг/с, значения давления перед насадком-

<sup>5</sup> Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная техника. Огнетушители переносные. Общие технические условия: СТБ 11.13.04-2009. – Введ. 01.09.2009 (с отменой на территории РБ НПБ 1-2005). – М.: НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2009. – 46 с.

распылителем – 0,36 и 0,49 МПа соответственно. Проведенные натурные испытания показали, что оптимизированная конструкция огнетушителя позволяет эффективнее проводить тушение при одинаковом исходном давлении в баллоне ( $P_{исх} = 1,4$  МПа) посредством увеличения интенсивности и дальности подачи огнетушащего порошка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Собурь, С.В. Установки пожаротушения автоматические / С.В. Собурь. – М.: Спецтехника, 2003. – 55 с.
2. Кравцов, А.М. Гидравлика: практикум / А.М. Кравцов, В.С. Лахмаков, Е.В. Плискевич. – Минск: БГАТУ, 2015. – 101 с.

**Оптимизация конструкции порошкового огнетушителя и исследование параметров подачи огнетушащего порошка**  
**Optimization of powder fire extinguisher design and research parameters of fire extinguishing powder supply**

**Журов Марк Михайлович**

кандидат технических наук

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра процессов горения и взрыва, доцент

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25  
e-mail: zhurmark@mail.ru

**Mark M. Zhurov**

PhD in Technical Sciences

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Combustion and Explosion Processes, Associate Professor

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25  
e-mail: zhurmark@mail.ru

**Бобрышева Светлана Николаевна**

кандидат технических наук, доцент

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», кафедра материаловедения в машиностроении, доцент

Адрес: 246746, Беларусь, г. Гомель, пр-т Октября, 48  
e-mail: bobrusheva@tut.by

**Svetlana N. Bobrysheva**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Educational Institution «Sukhoi State Technical University of Gomel», Chair of Materials Science in Mechanical Engineering, Associate Professor

Address: 246746, Belarus, Gomel, pr-t Oktyabrya, 48  
e-mail: bobrusheva@tut.by

**Короткевич Сергей Геннадьевич**

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра промышленной безопасности, преподаватель

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25  
e-mail: korotkevichsergei@mail.ru

**Sergey G. Korotkevich**

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Industrial Safety, Lecturer

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25  
e-mail: korotkevichsergei@mail.ru

**Черный Юрий Сергеевич**

Гомельский филиал государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра безопасности жизнедеятельности, преподаватель

Адрес: 246023, Беларусь, г. Гомель, пр-т Речицкий, 35А  
e-mail: mr.chernyu@mail.ru

**Yuriy S. Chernyy**

Gomel Branch of the State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Life Safety, Lecturer

Address: 246023, Belarus, Gomel, pr-t Rechitskiy, 35A  
e-mail: mr.chernyu@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.391>

## **OPTIMIZATION OF POWDER FIRE EXTINGUISHER DESIGN AND RESEARCH PARAMETERS OF FIRE EXTINGUISHING POWDER SUPPLY**

**Zhurov M.M., Bobrysheva S.N., Korotkevich S.G., Chernyy Yu.S.**

*Purpose.* To optimize the design of the powder fire extinguisher, to investigate the parameters of the supply of fire extinguishing powder, to conduct full-scale tests.

*Methods.* Experimental determination of fluidity and residue of fire extinguishing powder in the cylinder of the fire extinguisher after its use. Theoretical studies of the value of pressure losses in front of the spray nozzle and the range of the powder jet.

*Findings.* The dependences of the fluidity of the extinguishing powder and the pressure in front of the spray nozzle on the expiration time of the extinguishing charge were obtained. The average values of the fluidity of the extinguishing powder and the pressure in front of the spray nozzle for the initial and optimized design of the powder extinguisher were established. The design of the fire extinguisher, which allows efficient use of all fire extinguishing powder has been proposed, the pressure losses in the design with a siphon tube have been calculated. According to the pressure and fluidity functions in front of the nozzle, it was found that in the proposed design of the fire extinguisher without increasing the initial working pressure in the cylinder, with increasing the supply of the extinguishing powder, the range of its jet also increases. The values of pressure losses in the siphon tube are calculated. The effectiveness of the proposed design of powder fire extinguisher has been practically proved.

*Application field of research.* The results of the study can be used to optimize the design of powder fire extinguisher.

*Keywords:* powder fire extinguisher, fluidity, powder residue, siphon tube, pressure loss, spray nozzle, jet range.

(The date of submitting October 7, 2019)

### **REFERENCE**

1. Sobur S.V. *Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskie* [Automatic fire extinguishing installations]. Moscow: Spetstekhnika, 2003. 55 p. (rus)
2. Kravtsov A.M., Lakhmakov V.S., Pliskevich E.V. *Gidravlika* [Hydraulics]: tutorial. Minsk: Belarusian State Agrarian Technical University, 2015. 101 p. (rus).