

УДК 614.842.611

ak090695@yandex.ru

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПОЛЕЗНОСТИ НАСАДКА
С ВНУТРЕННЕЙ СПИРАЛЬНОЙ НАРЕЗКОЙ
ПРИ ПОРОШКОВОМ ПОЖАРОТУШЕНИИ****COMPREHENSIVE ESTIMATION OF THE NOZZLE
WITH INTERNAL SPIRAL CUTTING USE
FOR POWDER FIRE EXTINGUISHING**

*Константинова А. С.,
Поляков А. С., доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России, Санкт-Петербург*

*Konstantinova A., Poljakov A.,
Saint-Petersburg university of State fire service
of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg*

Ранее установлено, что эффективность тушения модельного очага пожара зависит от полноты попадания в него огнетушащего порошка. При этом стандартная методика огневых испытаний допускает значительные потери порошка, что приводит к ошибочным результатам определения огнетушащей способности в сторону ее занижения.

Снизить потери огнетушащего вещества при огневых испытаниях можно путем применения насадков, формирующих более компактную струю порошка. Разработан насадок с внутренней спиральной нарезкой, позволяющий достичь эффекта закрутки потока, что повышает компактность и скорость газопорошковой струи.

В статье представлены устройство и результаты огневых испытаний такого насадка. Испытания проводили с помощью авторской запатентованной системы экспериментальных очагов пожара, позволяющей фиксировать огнетушащий эффект в поперечных сечениях газопорошкового потока. Исследованы насадки с различными характеристиками: длина, наличие и шаг внутренней спиральной нарезки. Выявлено влияние насадка длиной 100 мм с шагом внутренней спиральной нарезки 20 мм на улучшение характеристик огнетушащего газопорошкового потока (компактность, скорость, дальность полета струи).

Из определяющих и зависимых величин методом анализа размерностей сформирован комплексный показатель, характеризующий эффективность газопорошковой струи, сформированной нарезным насадком.

Ключевые слова: огнетушащий газопорошковый поток, насадок с внутренней спиральной нарезкой, огневые испытания, порошковый огнетушитель.

It was previously established that the effectiveness of extinguishing a model fire source depends on the completeness of the fire extinguishing powder entering it. At the same time, the standard method of fire tests allows significant losses of powder, which leads to erroneous results in determining the fire extinguishing ability in the direction of its underestimation.

It is possible to reduce the loss of extinguishing agent during fire tests by using nozzles that form a more compact jet of powder. A nozzle with an internal spiral thread has been

developed, which allows to achieve the effect of swirling the flow, which increases the compactness and speed of the gas-powder jet.

The article presents the device and the results of firing tests of such a nozzle. The tests were carried out using the author's patented system of experimental fire sources, which makes it possible to record the fire extinguishing effect in the cross-sections of the gas-powder flow. Nozzles with different characteristics - length, presence and pitch of internal spiral cutting - have been investigated.

The influence of a nozzle with a length of 100 mm with a pitch of an internal spiral thread of 20 mm on improving the characteristics of a fire-extinguishing gas-powder flow (compactness, speed, range of the jet) has been revealed.

From the determining and dependent values by the method of dimensional analysis, a complex indicator is formed that characterizes the efficiency of a gas-powder jet formed by a threaded nozzle.

Keywords: fire extinguishing powder, experimental fire source, extinguishing mechanism, gas-powder stream.

Испытания порошка на огнетушащую способность проводят согласно ГОСТ Р 51057–2001 [1] путем тушения стандартизованного модельного очага пожара. Исходя из массы заряда огнетушителя и площади потушенного очага, определяют значение огнетушащей способности (как правило, в $\text{кг}/\text{м}^2$).

При этом огнетушители типоразмеров ОП-1, ОП-2 и ОП-3, поступающие к потребителю, оборудованы щелевыми насадками, огнетушители типоразмеров ОП-4 и более – шланговыми насадками с выходом щелевой формы. Влияние насадков на характеристики истекающей струи ОТВ в ходе испытаний не определяют, их применение стандартами не регламентировано.

В работе [2] нами установлено, что эффективность тушения зависит от полноты попадания порошка в очаг пожара. Стандартная методика испытаний допускает значительные потери порошка, что приводит к ошибочным результатам определения огнетушащей способности в сторону ее занижения.

Снизить потери ОТВ при огневых испытаниях можно путем применения насадков, формирующих более компактную струю порошка. Нами разработан насадок с внутренней спиральной нарезкой (далее – нарезной насадок), позволяющий достичь эффекта закрутки потока, что повышает компактность и скорость газопорошковой струи.

На рис. 1 представлен чертеж нарезного насадка.

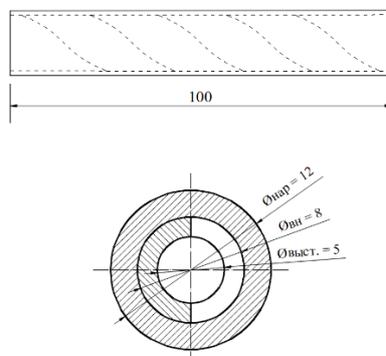


Рисунок 1. Чертеж нарезного насадка

На рис. 2 и 3 представлены схема присоединения нарезного насадка к огнетушителю ОП-1 и внешний вид огнетушителя с присоединенным насадком.



Рисунок 2. Схема присоединения нарезного насадка к огнетушителю ОП-1



Рисунок 3. Огнетушитель ОП-1 с присоединенным нарезным насадком

Проведены натурные огневые испытания огнетушителя ОП-1, оборудованного нарезным насадком. Для испытаний

использована установка, представленная на рис. 4.

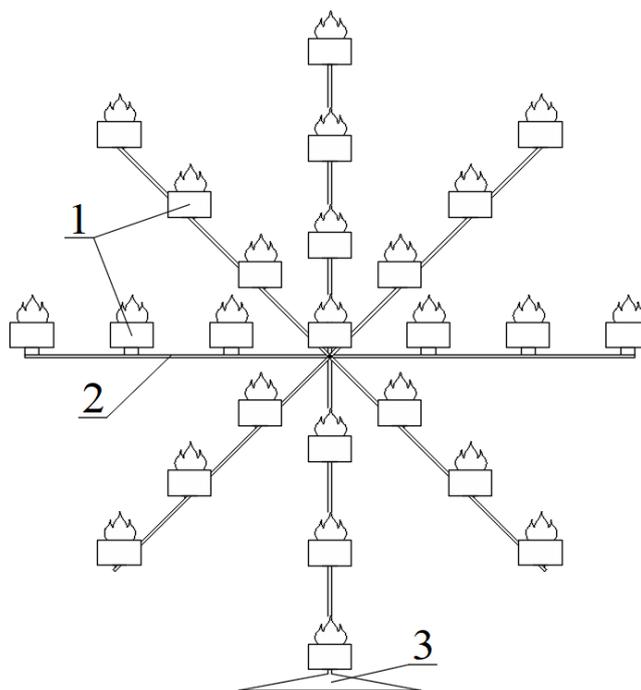


Рисунок 4. Установка для огневых испытаний огнетушителя ОП-1:
1 – экспериментальные очаги пожара; 2 – стержни каркаса установки;
3 – опора

В качестве экспериментальных очагов пожара (далее – ЭОП) использовали металлические емкости круглой формы диаметром 70 мм, в которые заливали горючее – растворитель 646, представляющий собой смесь жидких углеводородов (%_{масс}): толуол – 50; бутилацетат – 24; этанол – 10; изобутанол – 10; ацетон – 6 [3, стр. 153].

Эксперимент проводили в следующем порядке: огнетушитель с нарезным насадком устанавливали на заданном расстоянии от плоскости размещения ЭОП; в ЭОП заливали горючее, поджигали, после чего подавали порошок к очагам. Визуально и с помощью видеосъемки фиксировали количество и расположение потушенных очагов.

Результаты подачи через насадки с различными характеристиками (длина насадка, наличие и шаг спиральной нарезки)

Цель эксперимента – определение оптимальных характеристик нарезного насадка.

Очаги в количестве 13 единиц располагали на установке (рис. 4). Огнетушитель ОП-1 располагали на расстоянии 3 м от центрального очага таким образом, что угол между направлением движения газопорошкового потока и земной поверхностью составлял 45° (схема расположения оборудования при проведении эксперимента приведена на рис. 5).

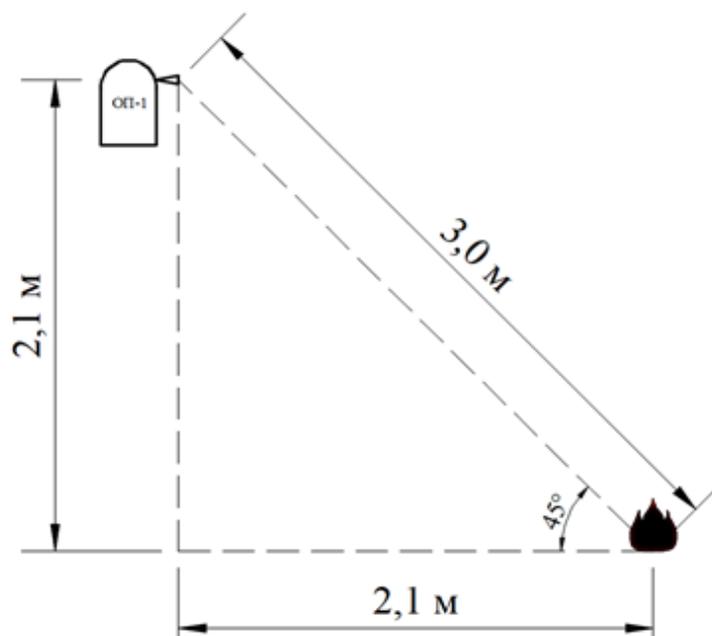


Рисунок 5. Взаиморасположение огнетушителя ОП-1 и установки с тринадцатью экспериментальными очагами (примечание: на схеме указан только центральный ЭОП)

Огнетушитель оснащали насадками различной длины и с разным шагом

нарезки. В табл. 1 представлены характеристики испытанных насадков и количество потушенных ЭОП.

Таблица 1
Характеристики использованных насадков

№ насадка	Длина насадка, мм	Шаг нарезки, мм	Количество потушенных очагов из 13
1	100	15	11
2	50	15	8
3	50	20	13
4	100	20	13
5	150	15	5
6	150	20	9
7	50	Без нарезки	13
8	100	Без нарезки	12
9	150	Без нарезки	10

В табл. 2 представлено суммарное количество потушенных очагов для каждого изменяемого параметра насадка (длина и шаг нарезки).

Таблица 2
Суммарное количество потушенных очагов
в зависимости от длины насадка и шага нарезки

		Шаг нарезки, мм			Суммарное количество потушенных очагов для заданной длины насадка
		15	20	Без нарезки	
Длина насадка, мм	50	8	13	13	34
	100	11	13	12	36
	150	5	9	10	24
Суммарное количество потушенных очагов для заданного шага нарезки		24	35	35	

Из табл. 2 следуют выводы:

– насадки длиной 150 мм показывают низкую эффективность тушения за счет торможения газопорошкового потока при прохождении его сквозь насадок;

– насадки с шагом нарезки 15 мм менее эффективны, чем с шагом нарезки длиной 20 мм. Предположительно, эффект можно объяснить более высоким сопротивлением нарезки с шагом в 15 мм.

По совокупности результатов подач в качестве оптимального выбран насадок длиной 100 мм с шагом спиральной нарезки 20 мм.

Результаты подачи через насадок с выбранными оптимальными характеристиками

Проведено десять серий испытаний, в ходе которых изменяли следующие параметры подачи: насыпную плотность порошка (дисперсный состав), расстояние между срезом огнетушителя и плоскостью ЭОП, угол наклона газопорошкового потока к поверхности земли (схемы расположения оборудования приведены на рис. 6). Фиксировали фактическую массу вышедшего порошка путем взвешивания огнетушителей до и после испытаний; время истечения струи, площадь ее поперечного сечения и угол распыла порошка с помощью видеоматериалов (рис. 7).

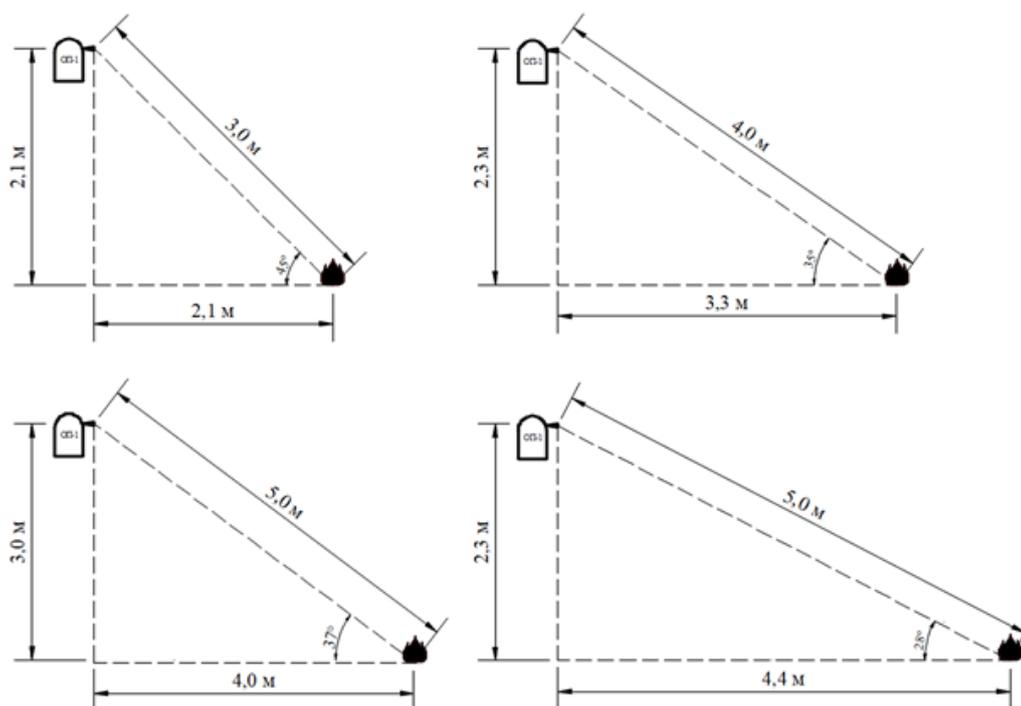


Рисунок 6. Взаиморасположение оборудования при проведении эксперимента (примечание: на схемах указан только центральный ЭОП установки)

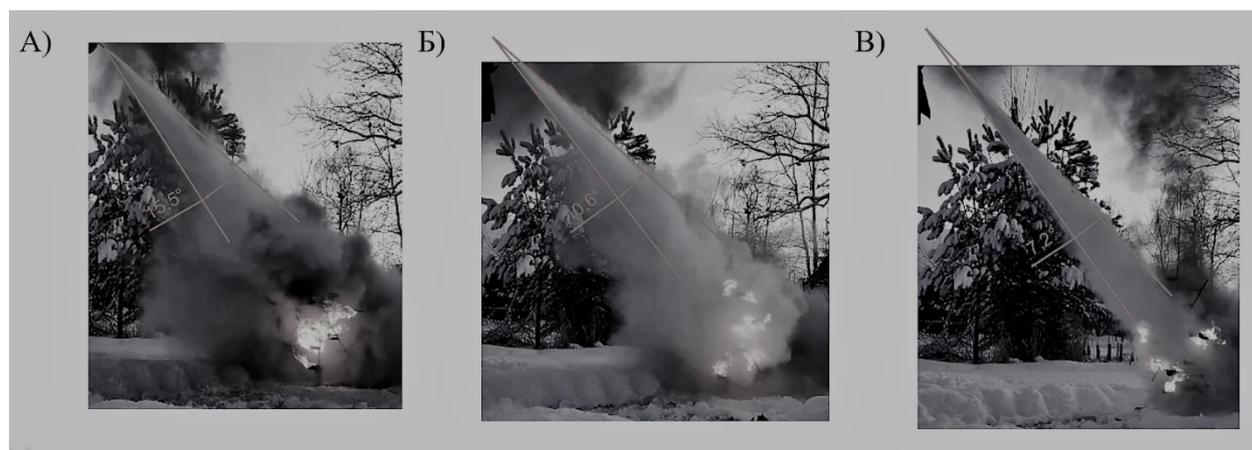


Рисунок 7. Определение угла распыла порошка с помощью видеоматериалов:

А) длина насадки 150 мм, шаг нарезки 15 мм; Б) длина насадки 50 мм, шаг нарезки 15 мм; В) длина насадки 50 мм, шаг нарезки 20 мм

С помощью видеозаписей установлено, что применение нарезного насадка улучшает характеристики огнетушащего газопорошкового потока (в сравнении с подачей через гладкий насадок):

– площадь поперечного сечения потока меньше, то есть поток более компактный;

– дальность полета струи больше (видно на записи подач порошка с расстояния 5 м);

– скорость газопорошкового потока выше, при этом наибольший эффект ускорения потока дает нарезной насадок длиной 100 мм (по сравнению с насадками длиной 50 и 150 мм);

– использование нарезного насадка дает эффект закручивания потока при его движении к очагу пожара.

По результатам испытаний на основании определяющих и зависимых вели-

чин (табл. 3) методом анализа размерностей [4, 5] был сформирован комплексный показатель, характеризующий эффективность газопорошковой струи, сформированной нарезным насадком.

Таблица 3
Комплексная характеристика эффективности газопорошковой струи, сформированной насадком с внутренней нарезкой

№	Показатели истечения газопорошкового потока	Обозначение	Единица измерения (система СИ)
А. Определяющие величины			
1	Насыпная плотность порошка	$\rho_{\text{пор}}$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
2	Давление вытеснения порошка	P	$\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$
3	Масса заряда порошка	$m_{\text{зар}}$	кг
4	Длина насадка с внутренней нарезкой	$L_{\text{нас}}$	м
5	Площадь зеркала горючей жидкости МОГ	$S_{\text{мог}}$	м ²
6	Угол подачи порошка в очаг МОГ относительно горизонта	$\angle\beta$	безразмерный
Б. Зависимые величины			
7	Масса порошка, осевшего на поверхность МОГ	$m_{\text{эф}}$	кг
8	Дальность газопорошковой струи	$L_{\text{стр}}$	м
9	Площадь поперечного сечения потока газопорошковой струи	$S_{\text{сеч}}$	м ²
10	Скорость газопорошковой струи	$v_{\text{стр}}$	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$
11	Импульс частиц газопорошковой струи	$P_{\text{ч}}$	$\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$
12	Длительность истечения порошка	$\tau_{\text{ист}}$	с
13	Угол раскрытия струи порошка	$\angle\alpha$	безразмерный

Структура и взаимосвязи между определяющими и зависимыми величинами газопорошковой струи представлены на рис. 8.

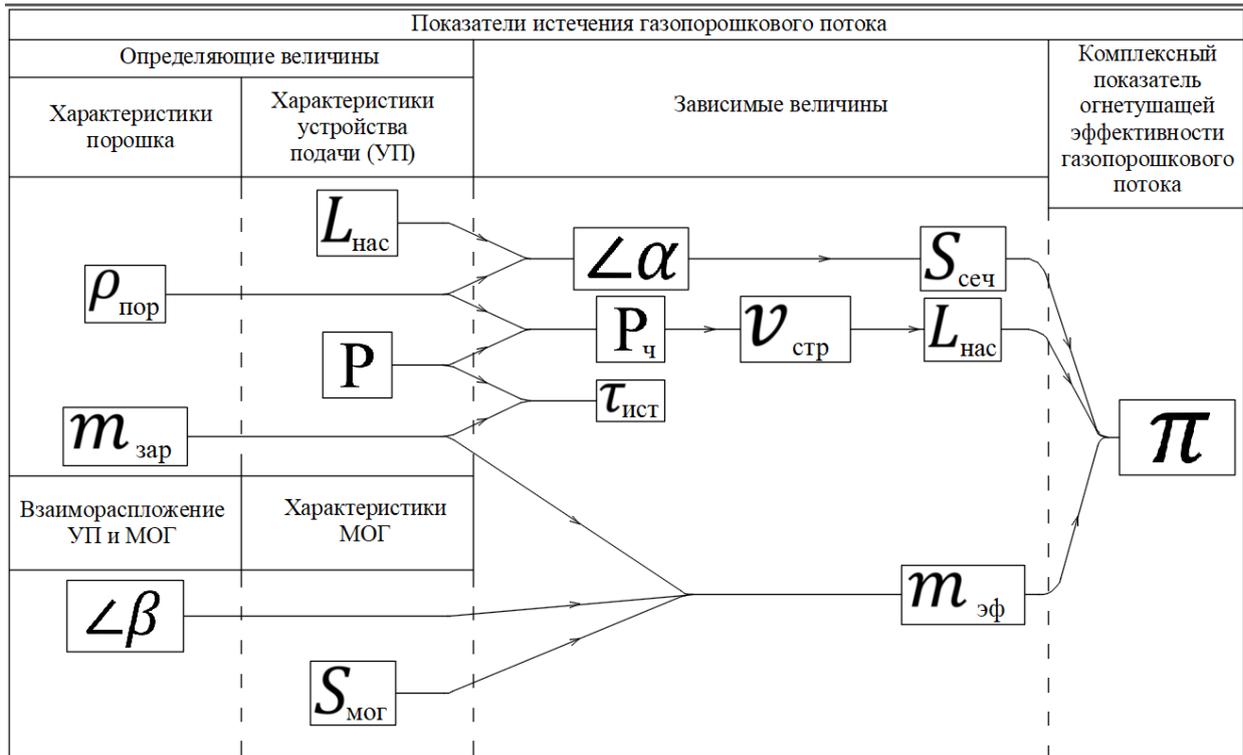


Рисунок 8. Взаимосвязь определяющих и зависимых величин

Из определяющих и зависимых величин составлено пять уравнений связи параметров газопорошкового потока:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \rho_{пор} \cdot L_{стр}^{X_1} \cdot v_{стр}^{Y_1} \cdot S_{сеч}^{Z_1} \cdot \tau_{ист}^{G_1} \cdot m_{эф}^{U_1} \cdot P_{ч}^{W_1} \\ \pi_2 &= m_{зар} \cdot L_{стр}^{X_2} \cdot v_{стр}^{Y_2} \cdot S_{сеч}^{Z_2} \cdot \tau_{ист}^{G_2} \cdot m_{эф}^{U_2} \cdot P_{ч}^{W_2} \\ \pi_3 &= L_{нас} \cdot L_{стр}^{X_3} \cdot v_{стр}^{Y_3} \cdot S_{сеч}^{Z_3} \cdot \tau_{ист}^{G_3} \cdot m_{эф}^{U_3} \cdot P_{ч}^{W_3} \\ \pi_4 &= S_{мог} \cdot L_{стр}^{X_4} \cdot v_{стр}^{Y_4} \cdot S_{сеч}^{Z_4} \cdot \tau_{ист}^{G_4} \cdot m_{эф}^{U_4} \cdot P_{ч}^{W_4} \\ \pi_5 &= P \cdot L_{стр}^{X_5} \cdot v_{стр}^{Y_5} \cdot S_{сеч}^{Z_5} \cdot \tau_{ист}^{G_5} \cdot m_{эф}^{U_5} \cdot P_{ч}^{W_5} \end{aligned}$$

Корни уравнений представлены в табл. 4.

Таблица 4
Корни уравнений связи параметров потока

Показатель	Корни уравнения					
π_1	X_1	Y_1	Z_1	G_1	U_1	W_1
комплекс	1	0	1	0	-1	0
π_2	X_2	Y_2	Z_2	G_2	U_2	W_2
симплекс	0	0	0	0	-1	0
π_3	X_3	Y_3	Z_3	G_3	U_3	W_3
симплекс	-1	0	0	0	0	0
π_4	X_4	Y_4	Z_4	G_4	U_4	W_4
симплекс	0	0	-1	0	0	0
π_5	X_5	Y_5	Z_5	G_5	U_5	W_5
комплекс	1	1	0	2	0	-1

В табл. 5 раскрыт физический смысл полученных симплексов и комплексов.

Таблица 5
Физический смысл симплексов и комплексов

Относительные показатели	Физический смысл относительных показателей
$[\pi_1] = \frac{\rho_{\text{пор}} \cdot L_{\text{стр}} \cdot S_{\text{сеч}}}{m_{\text{эф}}} = 1$	Удельная эффективная масса порошка в движущемся газовом потоке
$[\pi_2] = \frac{m_{\text{зар}}}{m_{\text{эф}}} = 1$	Удельная масса порошка, осевшего на модельный очаг горения (МОГ)
$[\pi_3] = \frac{L_{\text{нас}}}{L_{\text{стр}}} = 1$	Удельная дальность подачи насадка газового потока
$[\pi_4] = \frac{S_{\text{мог}}}{S_{\text{сеч}}} = 1$	Удельная площадь поперечного сечения струи газового потока
$[\pi_5] = \frac{P \cdot L_{\text{стр}} \cdot v_{\text{стр}} \cdot \tau_{\text{ист}}^2}{P_{\text{ч}}} = 1$	Удельный суммарный импульс частиц газового потока

На основании физического смысла показателей и исходя из необходимости их

улучшения, выведен обобщенный комплекс, характеризующий огнетушащую эффективность газопорошковой струи:

$$\pi = \frac{\pi_1 \cdot \pi_4 \cdot \pi_5}{\pi_2 \cdot \pi_3}$$

$$\pi = \frac{\rho_{\text{пор}} \cdot L_{\text{стр}}^3 \cdot S_{\text{мог}} \cdot P \cdot v_{\text{стр}} \cdot \tau_{\text{ист}}^2}{m_{\text{зар}} \cdot L_{\text{нас}} \cdot P_{\text{ч}}}$$

Применительно к источнику огнетушащего вещества (например, огнетушителю) расход определяют как

$$Q_{\text{ф}} = \frac{m_{\text{зар}}}{\tau_{\text{ист}}}$$

Тогда обобщенный комплекс можно записать в виде

$$\pi = \frac{\rho_{\text{пор}} \cdot L_{\text{стр}}^3 \cdot S_{\text{мог}} \cdot P \cdot v_{\text{стр}} \cdot \tau_{\text{ист}}}{Q_{\text{ф}} \cdot L_{\text{нас}} \cdot P_{\text{ч}}}$$

Литература

1. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.
2. Константинова А. С., Кожевин Д. Ф., Поляков А. С. Экспериментальная оценка влияния массы огнетушащего порошка на эффективность тушения углеводородов // Мат. юбилейного X форума «Школа молодых ученых и специалистов МЧС России», 15 октября 2020 г. СПб., 2020. С. 196–198.
3. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др. М., 1990. Кн. 2. 384 с.
4. Бриджмен П. Анализ размерностей. Ижевск, 2001. 148 с.
5. Иванов М. Г. Размерность и подобие. Долгопрудный, 2013. 68 с.

References

1. GOST R 51057–2001. Tekhnika pozharnaya. Ognetchiteli perenosnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy.
2. Konstantinova A. S., Kozhevina D. F., Polyakov A. S. Eksperimental'naya ocenka vliyaniya massy ognetchashchego poroshka na effektivnost' tusheniya uglevodorodov // Materialy yubilejnogo X foruma «SHkola molodyh uchyonyh i specialistov MCHS Rossii», 15 oktyabrya 2020 g. SPb., 2020. P. 196–198.
3. Pozharovzryvobezopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya / A. N. Baratov, A. YA. Korolchenko, G. N. Kravchuk i dr. M., 1990. 384 p.
4. Bridzhmen P. Analiz razmernostej. Izhevsk, 2001. 148 p.
5. Ivanov M. G. Razmernost' i podobie. Dolgoprudnyj, 2013. 68 p.