

Пожарная и промышленная безопасность (05.26.03, технические науки)

УДК 614.845.1

Совершенствование конструкции порошкового огнетушителя с пористой ёмкостью для огнетушащего вещества

Improving of the construction of powder fire extinguisher with a porous container for the extinguishing agent

А.С. Поляков
д-р тех. наук, профессор,
засл. деятель науки РФ,
Д.Ф. Кожевин
канд. тех. наук, доцент,
И.А. Сорокин

Санкт-Петербургский
университет ГПС
МЧС России

A.S. Polyakov
Holder of an Advanced
Doctorate in Engineering
Sciences, Full Professor,
Honored Worker of science of
the Russian Federation,

D.F. Kozhevnikov,
Ph.D. of Engineering Sciences,
Docent,

I.A. Sorokin
Saint-Petersburg University of
State Fire Service of Emercom of
Russia

Аннотация:

Известно, что массово выпускаемым в России огнетушителям порошковым (ОП) свойствен ряд недостатков. К их числу (помимо невысокого качества порошков) относят несовершенство внутренней системы транспортирования огнетушащего порошка, из-за чего остаток порошка после применения ОП по назначению иногда существенно превышает предельно допустимую норму. Величина остатка может быть значительно снижена за счет использования в конструкции ОП пористой емкости, содержащей запас огнетушащего порошка.

Представлены результаты экспериментального исследования по совершенствованию конструкции ОП со встроенной пористой емкостью, основанные на известных основополагающих аналитических зависимостях о траектории движения твердых частиц в потоке газа.

Ключевые слова: огнетушитель, огнетушащий порошок, конструкция, пористая емкость, твердые частицы, движение.

Abstract:

It is known that the mass produced in Russia fire extinguishers powder has a number of drawbacks. Among them (in addition to the low quality of powders) include the imperfection of the internal system of transportation of fire extinguishing powder, which is why the powder residue after the use of powder fire extinguisher for its intended purpose sometimes significantly exceeds the maximum permissible rate. The residual value can be significantly reduced by using a porous container containing a stock of extinguishing powder in the design of the powder fire extinguisher.

The paper presents the results of an experimental study to improve the design of a powder fire extinguisher with a built-in porous capacity, based on the known fundamental analytical dependences on the trajectory of solid particles in the gas flow.

Key word: fire extinguisher, fire extinguishing powder, construction, porous container, solid particles, movement

Введение

Один из известных недостатков огнетушителей порошковых (ОП) заключен в несовершенстве их внутренней системы пневмотранспорта огнетушащего порошка. По этой причине остаток огнетушащего порошка после применения ОП по назначению существенно превышает 15% [1], но он может быть уменьшен при использовании пористой емкости в качестве устройства для содержания огнетушащего порошка [2-4].

В статье представлены результаты экспериментально-теоретического исследования по совершенствованию конструкции ОП со встроенной пористой емкостью.

Цель исследования – повышение эффекта вытеснения огнетушащего порошка из огнетушителя при тушении пожара.

Задача исследования – обоснование рациональных параметров огнетушителя со встроенной пористой емкостью, определяющих полноту вытеснения огнетушащего порошка.

Теоретические предпосылки экспериментального исследования

Моделирование процесса движения частиц огнетушащего порошка внутри сосуда огнетушителя осуществлено с учетом ранее известных экспериментальных данных [2-4] и аналитических зависимостей, описывающих траекторию твердых частиц в движущемся потоке газа [5-7]:

- огнетушащий порошок истекает из сосуда под действием разности энергии вытесняющего газа и суммарно противодействующих ей затрат энергии на преодоление сил гравитации, инерции и трения;
- энергию вытесняющего газа определяет произведение его объема (V) и давления (P) внутри огнетушителя;
- затраты энергии на преодоление сил гравитации, инерции и трения зависят от дисперсного состава огнетушащего порошка, масс размерных групп частиц и их удаления от оси перемещения потока, совпадающей с вертикальной осью симметрии корпуса огнетушителя;
- движущееся в трёхмерном пространстве твердое тело (в рассматриваемом случае – каждая частица огнетушащего порошка) максимально может иметь 6 степеней свободы (три поступательных и три вращательных). Хаотичность перемещения частиц огнетушащего порошка определяется одновременным действием на них сил гравитации, избыточного давления вытесняющего газа и сил инерции (совокупного поступательного и вращательного движений частиц).

Теоретический анализ факторов, влияющих на процесс вытеснения частиц огнетушащего порошка из пористой емкости вертикально ориентированного огнетушителя, выполнен с учетом физической сущности следующих зависимостей и определений [8]:

- сила гравитации (P), действующая на систему материальных точек с массой каждой (m_i), зависит от дисперсионного состава огнетушащего порошка и может быть определена согласно уравнению

$$P = \sum_{i=1}^n m_i g \quad (1)$$

где g- ускорение свободного падения;

- момент инерции (J) вращающихся частиц огнетушащего порошка (как единой механической системы) равен сумме произведений масс (m_i) размерных групп частиц всех (n) материальных точек системы на квадраты их расстояний (r_i) до соответствующих осей вращения

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \quad (2)$$

- момент импульса (L) системы материальных точек (частиц огнетушащего порошка) относительно неподвижной оси вращения характеризует интенсивность вращательного движения всех частиц огнетушащего порошка

$$L = m_i v_i r_i \quad (3)$$

Из приведенных зависимостей следует, что конструкция огнетушителя должна обеспечивать уменьшение численных значений скоростей v_i , их радиус-векторов r_i и углов между ними. Этого результата теоретически можно достигнуть одним из следующих путей или сочетанием их:

- приданием пористому сосуду формы, уменьшающей количество степеней свободы движущихся частиц огнетушащего порошка (вплоть до одной поступательной степени вдоль оси потока) и уменьшением размеров пор сосуда (вплоть до микроскопических каналов), но при этом потери энергии по длине не должны существенно возрастать;
- распределением общей массы заряда огнетушащего порошка по нескольким параллельно соединенным сосудам, что позволит уменьшить скорости движения отдельных размерных групп частиц и, как следствие - сократить непроизводительные затраты энергии вытесняющего газа.

Определение численных значений скоростей каждой или отдельных размерных групп частиц v_i и соответствующих им радиус-векторов g_i практически невозможно из-за отсутствия достоверных сведений о количестве и пространственном расположении размерных групп частиц в огнетушащем порошке. Поэтому в решаемой нами задаче она решена экспериментально - распределением общей массы заряда огнетушащего порошка по нескольким параллельно соединенным цилиндрическим сосудам. Такая форма сосудов принята из-за удобства изготовления и размещения их внутри огнетушителей. Её имеют практически все известные конструкции огнетушителей.

Объекты и методики экспериментального исследования

Исследуемые макеты экспериментальных порошковых огнетушителей развивают прежние авторские идеи в этой области (патенты на полезные модели № RU № 106543, 2011г.; RU № 140072, 2014г.). Созданы на базе серийных образцов, имеют (только по условию удобства проведения многократных испытаний) разъемный корпус из 2-х частей с болтовым соединением, с дополнительно вмонтированным в верхнюю часть корпуса устройством для закачки газа-вытеснителя. Объем корпуса огнетушителя составляет $7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

Запас огнетушащего порошка размещен в вертикальных сосудах, имеющих общий выход через запорно-пусковое устройство (ЗПУ) огнетушителя. Поровая часть поверхности сосудов сосредоточена на их торцах, обращенных к направлению вытесняющего газа. Сосуды имеют различную вместимость и габаритные размеры (в зависимости от массы заряда огнетушащего порошка). Они могут быть разнесены друг от друга (в отдельных корпусах) или расположены коаксиально относительно вертикальной оси симметрии корпуса огнетушителя.

В качестве пористого материала применена сетка тканая с квадратными ячейками 60 мкм из металлической проволоки диаметром 0,04 мм [9] (размер ячеек сосудов определен с помощью микроскопа сканирующего электронного Tescan серии Vega).

В экспериментах использован огнетушащий порошок «ВЕКСОН-АВС 25» (ЗАО «Экохиммаш», Россия, г. Буй) с насыпной плотностью $(900 \pm 70) \text{ кг/м}^3$. Гранулометрический состав порошка (% масс.): частицы более 100 мкм – (27 ± 8) ; более 50 мкм – (50 ± 8) [10].

Масса заряда порошка и его остаток взвешены на весах электронных: ПВ-30 (пределы взвешивания - от 0,1 до 30,0 кг, дискретность взвешивания - 0,005 кг).

Величина давления в корпусе при достигнутом эффекте фиксирована манометром марки ТМЗ (класс точности 1,5) с диапазоном шкалы измерений от 0 до 1,6 МПа.

Минимальное начальное давление в корпусе огнетушителя определено при расчетной массе заряда огнетушащего порошка 0,5 кг (табл.1) и 1,0 кг (табл.2), рассредоточенной в 4-х отдельных сосудах с общей площадью поровой части $4,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Таблица 1. Остаток огнетушащего порошка в пористых сосудах от величины начального избыточного давления вытесняющего газа (при расчетной массе порошка - 0,5 кг)

№ эксперимента	Масса порошка, кг		Давление начальное в огнетушителе, МПа	Остаток порошка, %
	начальная	остаточная		
1	0,540	0,115	0,30	21,3
2	0,520	0,105	0,35	20,2
3	0,535	0,115	0,34	21,5
Среднее арифметическое значение			0,33	21,0
1	0,540	0,020	0,50	3,7
2	0,560	0,030	0,54	5,4
3	0,550	0,045	0,56	8,2
Среднее арифметическое значение			0,53	5,8
1	0,555	0,005	0,80	0,9
2	0,555	0,005	0,80	0,9
3	0,550	0,030	0,80	5,4
4	0,550	0,010	0,80	1,8
5	0,555	0,010	0,80	1,8
Среднее арифметическое значение			0,80	2,2

Таблица 2. Остаток огнетушащего порошка в пористых сосудах (масса заряда 1 кг, начальное давление газа - 0,8 МПа)

№ эксперимента	Масса заряда порошка, кг		Остаток порошка, %
	начальная	остаточная	
1	1,000	0,010	1,0
2	1,000	0,010	1,0
3	1,000	0,015	1,5
Среднее арифметическое значение			1,2

По результатам этой серии экспериментов определена начальная величина давления в огнетушителе (0,8 МПа), обеспечивающая минимальный остаток огнетушащего порошка. Необходимость дальнейшего увеличения давления признана нецелесообразной, поскольку остаток был почти в 7 раз

меньше нормируемой величины [1]. В связи с этим, далее представлены результаты испытаний, соответствующие только этому давлению.

Экспериментальное исследование конструкций огнетушителей

Исследованы два типа пористых сосудов для содержания порошка в условиях эксплуатации. Первый тип представляет собой изолированные друг от друга цилиндрические сосуды, во втором – цилиндрические сосуды соединены коаксиально (труба в трубе или труба в двух трубах). Коаксиальное расположение принято с учетом создания компактной конструкции в условиях минимизации занимаемого объема внутри корпуса огнетушителя.

При испытаниях оценена взаимосвязь характерных размеров, вместимость и количество соединенных сосудов, диаметры их соединительных трубопроводов, количество газа, израсходованного для достижения эффекта вытеснения. С этой целью конструкции сосудов и их элементов в ходе испытаний изменяли в соответствии с теоретическими представлениями о факторах, влияющих на процесс вытеснения частиц огнетушащего порошка из пористой емкости вертикально ориентированного огнетушителя.

Все сведения о характеристиках сосудов, условиях испытаний и изменении остатка порошка в сосудах представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Характеристики и результаты испытаний параллельно соединенных изолированных сосудов

№ серии экспериментов	Диаметр сосуда $d_c, 10^{-3} \text{ м}$		Всего сосудов $n, \text{ ед}$	Площадь поровой части, $S_{\text{пор.части}} 10^{-3} \text{ м}^2$		Площадь соединения сосудов с коллектором 10^{-3} м^2	Диаметр, / площадь трубки, $S_{\text{тр}},$ соединяющей коллектор с ЗПУ, $10^{-3} \text{ м} / 10^{-3} \text{ м}^2$	Начальные параметры вытесняющего газа		Масса ОТВ $m, \text{ кг}$		Среднее значение остатка порошка, %
	номинальный	внутренний $d_{\text{с.вн}}$		одного сосуда	всех сосудов			давление $P, \text{ МПа}$	объем $V, 10^{-3} \text{ м}^3$	начальная $m_{\text{нач}}$	остатка $m_{\text{ост}}$	
1	d32	29,0	4	0,66	2,64	0,62	14,0 / 0,154	0,33	24,1	0,540	0,115	21,0
сосудов										0,105		
0,535										0,115		
2	d32	29,0	4	0,66	2,64	0,62	14,0 / 0,154	0,53	35,3	0,540	0,020	5,8
0,560										0,030		
0,550										0,045		
3	d32	29,0	6	0,66	3,96	1,08	14,0 / 0,154	0,80	50,4	0,555	0,005	2,2
0,555										0,005		
0,550										0,003		
0,550										0,010		
4	d32	29,0	6	0,66	3,96	1,08	14,0 / 0,154	0,80	45,0	1,000	0,080	7,5
1,000										0,070		
5	d40	36,4	4	1,04	4,16	0,62	14,0 / 0,154	0,80	45,9	0,555	0,005	1,2
										0,555	0,005	
										0,550	0,010	
										1,000	0,010	1,4
										1,000	0,010	
										1,000	0,015	
										1010	0,015	
										1005	0,015	
1000	0,015											
0,980	0,015											

Из табл.3 следует:

- видна определяющая роль энергии вытесняющего газа в истечении порошка, что особенно заметно у образцов серии экспериментов № 1 - №3 (остаток порошка снизился с 21 до 2,2 %);

- увеличение количества сосудов с 4 до 6 (при тех же размерах как у образцов в серии экспериментов №1 - №3) ведет к возрастанию остатка порошка с 2,2 до 7,5 %, и указывает на неспособность конструкции (образец серии экспериментов №4) пропустить весь порошок;

- незначительное увеличение диаметра сосудов (с 32 мм до 40 мм) у конструкции № 5 позволило добиться снижения остатка порошка до 1,2% - 1,4% при прежних параметрах вытесняющего газа;
- влияние площади поровой части сосудов неоднозначно, это видно из данных образцов в серии экспериментов №1 - №3 (остаток порошка

изменялся с 21% до 2,2 % при одном и том же значении площади 2,64.10⁻³ м²) и указывает на необходимость дополнительного исследования этого фактора.

Таким образом, можно констатировать, что в исследованных случаях проявляется одномоментное влияние перечисленных факторов. Этого следовало ожидать, исходя из ранее рассмотренных теоретических предпосылок.

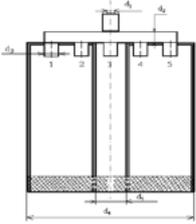
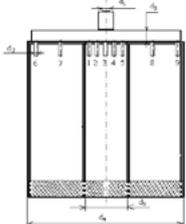
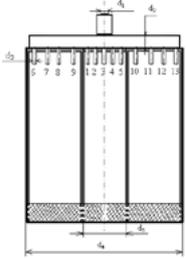
Таблица 4. Характеристики и результаты испытаний коаксиально соединенных сосудов

№ серии экспериментов	Диаметр коаксиального сосуда d _с , 10 ⁻³ м		Всего сосудов коаксиальных n _с , ед	Площадь поровой части, S _{пор.части} , 10 ⁻³ м ²	Площадь соединения сосудов с коллектором 10 ⁻³ м ²	Диаметр, / площадь трубки, S _{тр.} , соединяющей коллектор с ЗПУ, 10 ⁻³ м / 10 ⁻³ м ²	Начальные параметры вытесняющего газа		Масса ОТВ м, кг		Среднее значение остатка порошка, %																		
	номинальный	внутренний d _{с.вн}					давление P, МПа	объем V, 10 ⁻³ м ³	начальная m _{нач}	остатка m _{ост}																			
1	d110 d40	104 36,4	2	8,5	0,452	14,0 / 0,154	0,80	50,4	1,010	0,065	6,4																		
									1,000	0,060																			
									0,980	0,065																			
									1,000	0,065																			
									0,995	0,060																			
									0,995	0,065																			
2	d110 d40	104 36,4	2	8,5	0,653	14,0 / 0,154	0,80	50,4	1,000	0,065	6,4																		
									0,995	0,060																			
									1,000	0,070																			
									1,005	0,060																			
									1,000	0,065																			
									1,000	0,065																			
3	d110 d40	104 36,4	2	8,5	0,770	3,0 / 0,007 6,8 / 0,036 14,0 / 0,154	0,80	50,4	1,000	0,635	65,3																		
									1,005	0,655																			
									1,005	0,670																			
									3	d110 d40	104 36,4	2	8,5	0,770	3,0 / 0,007 6,8 / 0,036 14,0 / 0,154	0,80	50,4	1,000	0,600	55,5									
																		1,000	0,535										
																		0,995	0,530										
																		3	d110 d40	104 36,4	2	8,5	0,770	3,0 / 0,007 6,8 / 0,036 14,0 / 0,154	0,80	50,4	0,995	0,160	15,2
																											1,000	0,150	
																											1,000	0,145	
4	d 90 d50	88 48	3	6,1	0,251	8,0 / 0,050	0,80	54,9	1,000	0,160	16,7																		
									1,000	0,145																			
									0,995	0,195																			
									1,000	0,180																			
5	d13	11	3	6,1	0,351	8,0 / 0,050	0,80	54,9	1,005	0,165	16,8																		
									1,000	0,165																			
									1,000	0,160																			

Данные табл.4 подтверждают, что добиться эффекта по снижению остатка порошка, достигнутому с применением изолированных сосудов (табл.3), в данном случае не удалось, но видна роль геометрических размеров трубки (диаметр 3,0.10⁻³ и 6,8.10⁻³ м), соединяющей коллектор с ЗПУ в образовании остатка (остаток порошка снизился с 65,3% до 55,5%). Оптимальный диаметр трубки при рассмотренных вариантах составляет около 14,0 мм.

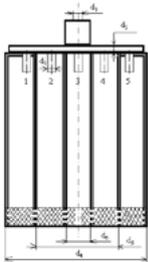
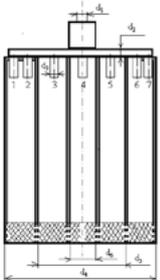
В конструкции коаксиальных сосудов (на пути движения огнетушащего порошка) есть трубопроводы, внутренние диаметры которых могут существенно влиять на эффект опорожнения. Для выяснения их роли и характеристик полученные данные представлены в виде табл. 5 и 6.

Таблица 5. Характеристики трубопроводов огнетушителей с 2-мя коаксиально соединенными пористыми сосудами

Схемы соединений и обозначения диаметров сосудов (d_4, d_5) и трубопроводов (d_1, d_2, d_3)	Вариант конструкции	Характеристики трубопроводов на пути движения порошка			Масса остатка порошка в сосудах, %
		Соединение сосудов с коллектором (d_3) 10^{-3} м / количество (n) / $F \cdot 10^{-3}$ м ²	Коллектор (d_2) 10^{-3} м / $F \cdot 10^{-3}$ м ²	Соединение коллектора с ЗПУ (d_1), 10^{-3} м / $F \cdot 10^{-3}$ м ²	
	№ 1	$14,0 / 5$ $F_5 = 0,770$	$14,0 / F=0,154$	$3,0 / F=0,007$	63,5
					65,5
					67,0
	№ 2			$6,8 / F=0,036$	60,0
					53,5
					53,0
	№ 3			$14,0 / F=0,154$	16,0
					15,0
					14,5
	№ 4	$8,0 / 9$ $F_9 = 0,452$	$14,0 / F=0,154$	$14,0 / F=0,154$	6,5
					6,0
					6,5
	№ 5	$8,0 / 13$ $F_{13} = 0,653$	$14,0 / F=0,154$	$14,0 / F=0,154$	6,0
					6,5
					6,5

Как следует из табл. 5, по мере дробления общего потока порошка, за счет увеличения количества соединений сосудов (с 5 до 13) с коллектором (d_3), позволило значительно (в 10 раз!) уменьшить остаток порошка (с 67% до 6%).

Таблица 6. Характеристики трубопроводов огнетушителей с 3-мя коаксиально соединенными пористыми сосудами

Схемы соединений и обозначения диаметров сосудов (d_4, d_5, d_6) и трубопроводов (d_1, d_2, d_3)	Вариант конструкции	Характеристики трубопроводов на пути движения порошка			Масса остатка порошка в сосудах, %
		Соединение сосудов с коллектором (d_3) 10^{-3} м / количество (n) / $F \cdot 10^{-3}$ м ²	Коллектор (d_2) 10^{-3} м / $F \cdot 10^{-3}$ м ²	Соединение коллектора с ЗПУ (d_1), 10^{-3} м / $F \cdot 10^{-3}$ м ²	
	№ 6	8,0 / 5 ($F_5=0,251$)	14,0 / $F=0,154$	8,0 / $F=0,050$	16,0
					14,5
					19,5
	№ 7	8,0 / 7 ($F_7=0,351$)	8,0 / $F=0,050$	8,0 / $F=0,050$	18,0
					16,5
					16,0

Данные табл.6 подтверждают определяющую роль диаметра соединения коллектора с ЗПУ огнетушителя. Несмотря на то, что сосуд № 7 в этом месте (d_3) имел площадь в 1,5 раз большую, в сравнении с сосудом № 6 ($F_7=0,351 / F_5=0,251$), остаток порошка практически остался прежним.

Приведенные факты позволили прийти к выводу, что изменение относительной величины остатка порошка в корпусе огнетушителя ($m_{ост.}$) может быть выражено графически (рис. 1 и 2) в зависимости от диаметра трубки (d_1), соединяющей коллектор и ЗПУ.

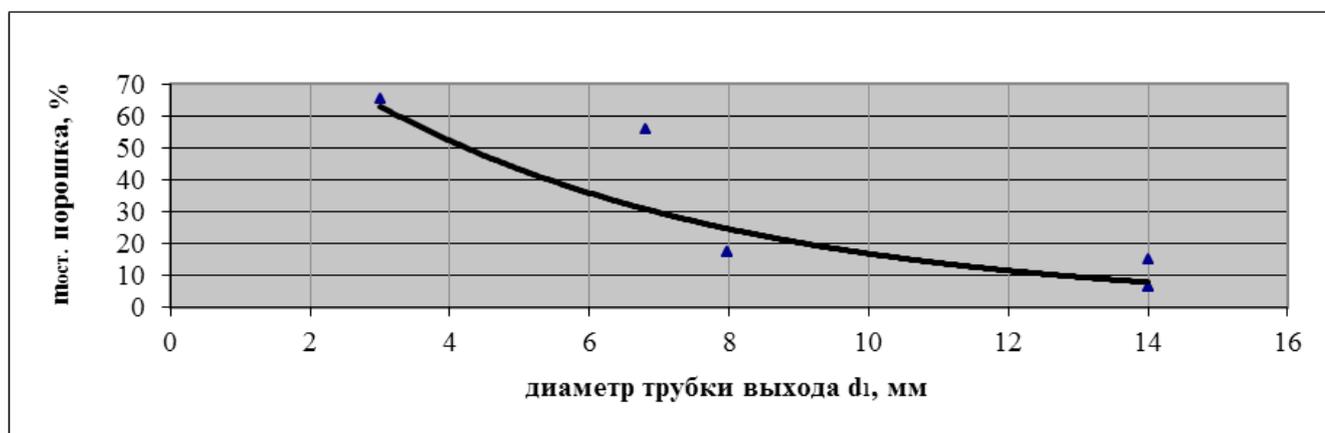


Рис. 1. Изменение массы остатка огнетушащего порошка по результатам экспериментов огнетушителя с коаксиальными сосудами

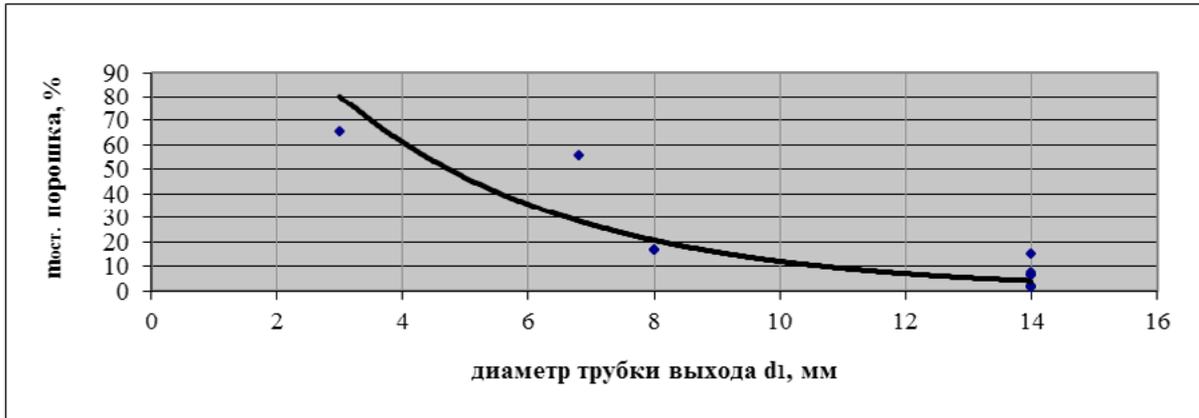


Рис. 2. Изменение массы остатка огнетушащего порошка по результатам экспериментов огнетушителя с коаксиальными и с отдельными сосудами

Представленные на рис. 1 и 2 зависимости имеют аналитическое выражение:

$$m_{\text{ост}} = 181,07e^{-0,271d_1} \quad (4)$$

(при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,66$) - совместно для коаксиальных и отдельных сосудов;

$$m_{\text{ост}} = 110,84e^{-0,188d_1} \quad (5)$$

(при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,77$) - для коаксиальных сосудов.

Влияние энергии выхода газа-вытеснителя на изменение массы остатка огнетушащего порошка представлено рис. 3 и 4.

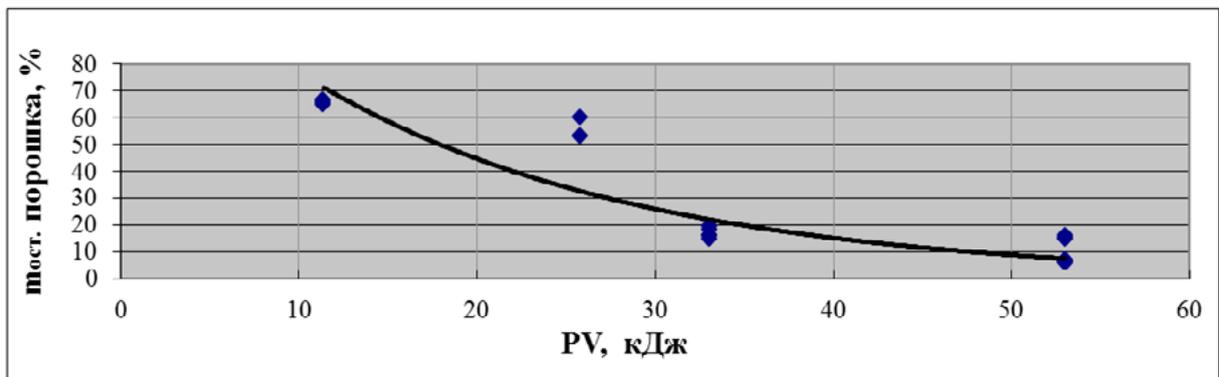


Рис. 3. Изменение массы остатка огнетушащего порошка от энергии вытесняющего газа по результатам экспериментов огнетушителя с коаксиальными сосудами

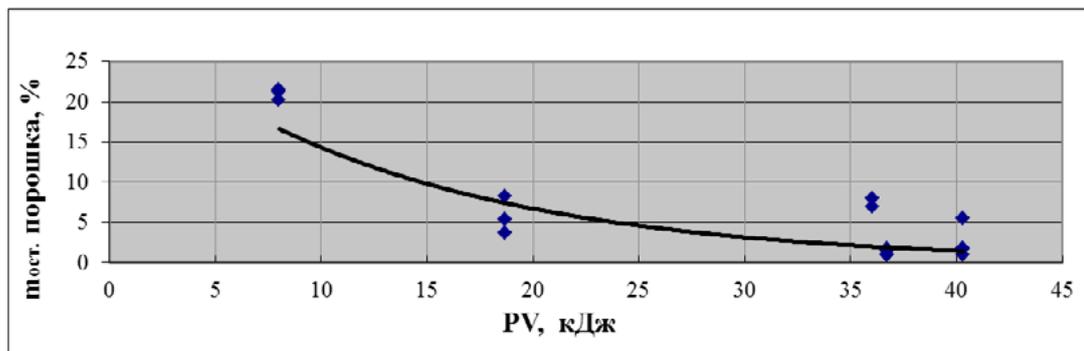


Рис. 4. Изменение массы остатка огнетушащего порошка от энергии вытесняющего газа по результатам экспериментов огнетушителя с параллельными сосудами

Аналитическое выражение зависимостей влияния энергии на остаток порошка (рис. 3 и 4) имеет вид:

$$m_{ост} = 30,513e^{-0,076 \cdot PV} \quad (6)$$

- с изолированными сосудами, при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,66$;

$$m_{ост} = 132,61e^{-0,054 \cdot PV} \quad (7)$$

- с коаксиальными сосудами, при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,84$.

Анализ и обсуждение результатов испытаний огнетушителей

Экспериментально эффективность конструкции огнетушителя определена по зависимости массы остатка порошка от параметров вытесняющего газа и диаметра d_1 трубки, соединяющей коллектор с ЗПУ огнетушителя.

Серии проведенных экспериментов показали, что исходные параметры (характеристики) огнетушителей ОП должны иметь следующие значения:

- начальное давление вытесняющего газа не менее 0,8 МПа;
- диаметр трубки, соединяющей коллектор с ЗПУ d_1 - не менее 14 мм.

Все исследованные варианты конструктивных элементов вновь разработанных огнетушителей обеспечивают остаток порошка не более 7,5% (при давлении 0,8 МПа), что менее допускаемых стандартом 15%. Лучшие из них обеспечивают возможность уменьшения остатка порошка до 1-2%.

Из этих сведений можно сделать вывод, что конструкция огнетушителя с параллельно соединенными изолированными сосудами более совершенна (по величине остатка порошка), проще в изготовлении и потому более пригодна к применению.

Заключение

Полученные характеристики элементов конструкции порошкового огнетушителя с пористой емкостью, как системы содержания порошка в изолированных параллельных и коаксиально соединенных пористых сосудах, позволяют проводить их дальнейшее совершенствование путем устранения известного в аэродинамике эффекта «узкого горла» сосуда.

Представленные результаты исследования могут быть использованы не только при выпуске новых порошковых огнетушителей с пористыми сосудами для содержания огнетушащих веществ, но и при модернизации ранее выпущенных образцов, которых в России насчитывают, по нашим оценкам, несколько миллионов единиц.

Литература:

1. ГОСТ Р 51057-2001 «Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний», М.: ИПК Издательство стандартов, 2002 г.
2. Кожевин Д.Ф., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. Оценка характеристик порошковых огнетушителей, определяющих полноту вытеснения огнетушащего состава. Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере». - 2011г., № 4.
3. Кожевин Д.Ф., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. Полезная модель порошкового огнетушителя с пористым сосудом для огнетушащего состава. Научно-технический журнал «Пожаровзрывобезопасность». - 2012г., № 1.
4. Кожевин Д.Ф., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. Оценка совершенства пневматического тракта порошковых огнетушителей на основе метода анализа размерностей. Научно-технический журнал «Пожаровзрывобезопасность». - 2012, № 4.
5. Соболев А.А., Мельников П.А., Тютюнник А.О. Движение частиц в воздушном потоке. Вектор науки ТГУ, № 3(17), 2011, Тольятти (Россия).
6. Сугак Е.В., Сугак А.В. Моделирование турбулентных газодисперсных потоков // Современные проблемы науки и образования. - 2012., № 6.
7. Сугак А.В., Сугак Е.В. Равновесные траектории частиц в турбулентном потоке газа. //Современные проблемы науки и образования. - 2014., №2.
8. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. Наука, М: 1968.
9. ГОСТ 2715-75 «Сетки металлические проволочные. Типы, основные параметры и размеры (с Изменением № 1)», М.: ИПК Издательство стандартов, 2003 год.
10. Огнетушащий порошок «ВЕКСОН® - АВС 25». Технические условия ТУ 2149-028-10968286-2014.