

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДУЛЕЙ Порошкового тушения применительно к объектам нефтегазового комплекса

Н.Б. Маркова;

М.Р. Сытдыков, кандидат технических наук;

**А.С. Поляков, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель
науки Российской Федерации.**

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлена оценка эффективности модулей порошкового тушения на основе сравнения величин импульсов этих модулей и требуемых для тушения пожаров, которая показывает области возможного применения модулей пожарных автомобилей порошкового тушения.

Ключевые слова: модуль порошкового тушения, оценка технической эффективности, метод анализа размерностей, безразмерный комплекс, импульс

ESTIMATION OF TECHNICAL EFFICIENCY MODULES POWDER EXTINGUISHING RELATION TO OIL AND GAS FACILITIES

N.B. Markova, M.R. Sytdykov, A.S. Polyakov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Presents the evaluation of the effectiveness of the modules of powder extinguishing based on a comparison of the magnitudes of the pulses of these modules and required for extinguishing fires, which indicates areas of possible application modules fire trucks powder extinguishing.

Keywords: module powder extinguishing, evaluation of technical efficiency, dimensional analysis, dimensionless complex, impulse

Установки порошкового тушения (УПТ), как правило, реализованы с помощью специальных модулей – технологического оборудования для хранения и вытеснения огнетушащих порошков, конструктивно размещенного на стационарных или мобильных платформах.

Особенность предназначения и специфические особенности конструкции УПТ таковы, что к ним не в полной мере могут быть отнесены классические определения эффекта и эффективности [1]. Имеют место случаи, когда подобная техника завершает свой жизненный цикл, не будучи использованной по целевому назначению ни разу, хотя затраты на производство и эксплуатацию существенны [2].

В этом случае целесообразно вести речь о технической эффективности, которая характеризует потенциальные возможности той или иной конструкции УПТ без учета затраченных средств. Именно с этих позиций в статье рассмотрена эффективность модулей порошкового тушения.

При оценке технической эффективности таких модулей во внимание приняты показатели, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Показатели, влияющие на эффективность модулей порошкового тушения

Показатели	Символы	Единицы измерения
Кинематическая вязкость аэрозоля	ν	м ² /с
Масса огнетушащего порошка	M_n	кг
Расход порошка при тушении пожара	Q_n	кг/с
Дальность подачи порошка лафетным и ручным стволами	L_n	м
Рабочее давление в сосуде для огнетушащего порошка	p_n	Па
Остаток огнетушащего порошка после применения по назначению	Δm	кг

Для комплексной оценки эффективности методом анализа размерности [3], по данным табл. 1, сформированы безразмерные обобщенные комплексы (табл. 2).

Таблица 2. Обобщенные комплексы порошковых модулей и их физическая сущность

Обобщенные комплексы (первичные)	Обобщенные комплексы (преобразованные)	Соотношения размерностей обобщенных комплексов	Физическая сущность комплексов и симплексов
$\pi_1 = \frac{\nu \cdot p_n^2 \cdot M_n^3}{Q_n^5}$	$\pi^{-1} = \frac{Q_n^5}{\nu \cdot p_n^2 \cdot M_n^3}$	$[\pi_1^{-1}] = \left(\frac{\text{кг}^2/\text{с}}{\text{кг}^2/\text{с}} \right)^5 = 1$	Удельный расход аэрозоля
$\pi_2 = \frac{L_n \cdot p_n \cdot M_n}{Q_n^2}$	$\pi_2 = \frac{L_n}{Q_n^2 \cdot p_n^{-1} \cdot M_n^{-1}}$	$[\pi_2] = \left(\frac{\text{м}}{\text{м}} \right) = 1$	Удельная дальность полета аэрозоля
$\pi_3 = \frac{\Delta m}{M_n}$	–	$[\pi_3] = \frac{\text{кг}}{\text{кг}} = 1$	Удельный остаток массы порошка
$\pi_4 = \frac{\pi_2}{\pi_1 \cdot \pi_3} = \frac{L_n \cdot Q_n^3}{\nu \cdot p_n \cdot M_n \cdot \Delta m}$	–	$[\pi_4] = \frac{\text{м} \cdot \left(\frac{\text{кг}^2}{\text{с}} \right)^3}{\text{м} \cdot \left(\frac{\text{кг}^2}{\text{с}} \right)^3} = 1$	Коэффициент технической эффективности модуля порошкового тушения

Расчетные значения этих показателей получены по численным значениям единичных показателей модулей ряда пожарных автомобилей порошкового тушения (АП) с учетом вязкости вытесняющего газа (сухого воздуха), равной $79,38 \cdot 10^{-6}$ м²/с (табл. 3).

Таблица 3. Расчетные значения обобщенных комплексных показателей модулей порошкового тушения

Обобщенные комплексы	Марки АП						
	АП-5000 (53215)	АП-5000-60 (53215)	АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	АП-1000-40 (5301 БО)	АП-5 (53213), мод. 196	АП-4 (43105), мод. 222	АП-3 (130) мод. 148-А
	1	2	3	4	5	6	7

	Марки АП						
	АП-5000 (53215)	АП-5000- 60 (53215)	АП-5000 (53215), мод. ПМ- 567	АП-1000- 40 (5301 БО)	АП-5 (53213), мод. 196	АП-4 (43105), мод. 222	АП-3 (130) мод. 148-А
$\pi_1 \cdot 10^{-8}$	969	318	318	5	358	10	37
$\pi_2 \cdot 10^{-6}$	125	60	100	18	51	23	25
π_3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$\pi_4 \cdot 10^3$	13	19	31	353	15	227	69

Из данных табл. 3 видно, что у всех модулей безразмерный комплекс $\pi_3=0,1$. Показатели π_1 и π_2 имеют существенно другие численные значения.

Следовательно, входящая в комплекс π_3 величина остатка массы Δm огнетушащего порошка (после применения модуля по назначению) затмевает влияние других единичных показателей качества, представленных в табл. 1. Этот факт иллюстрируют рис. 1–3, где отражена взаимосвязь коэффициента технической эффективности модуля порошкового тушения π_4 с другими комплексными показателями (π_1 , π_2 , π_3) при довольно высокой корреляции между ними.

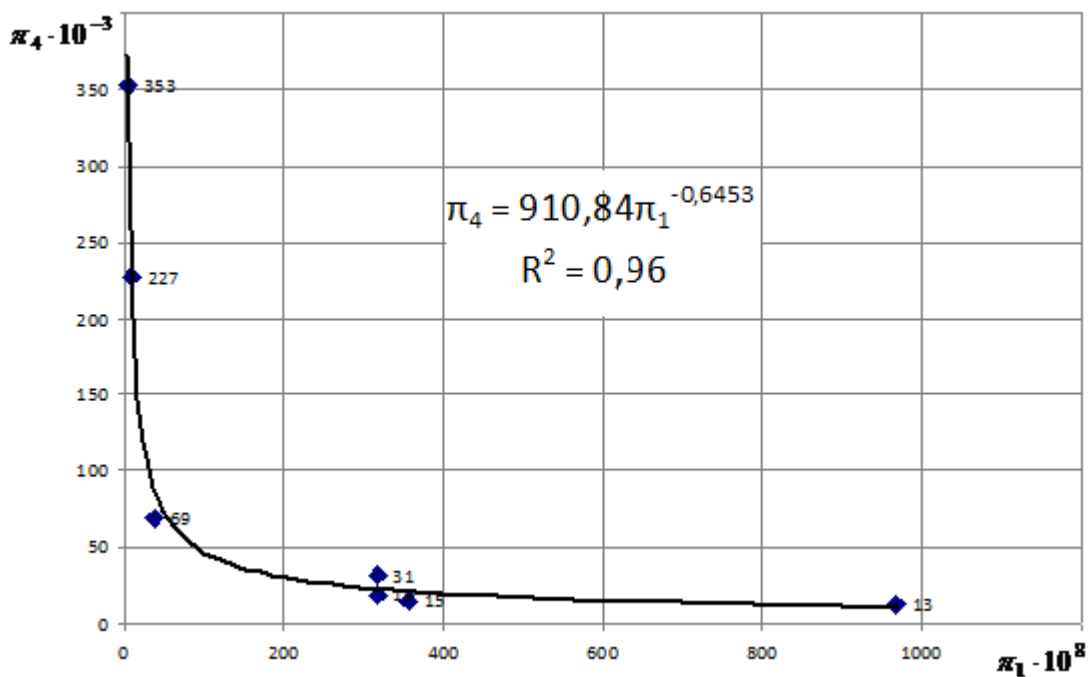


Рис. 1. Зависимость коэффициента технической эффективности модуля порошкового тушения π_4 от удельного расхода аэрозоля π_1

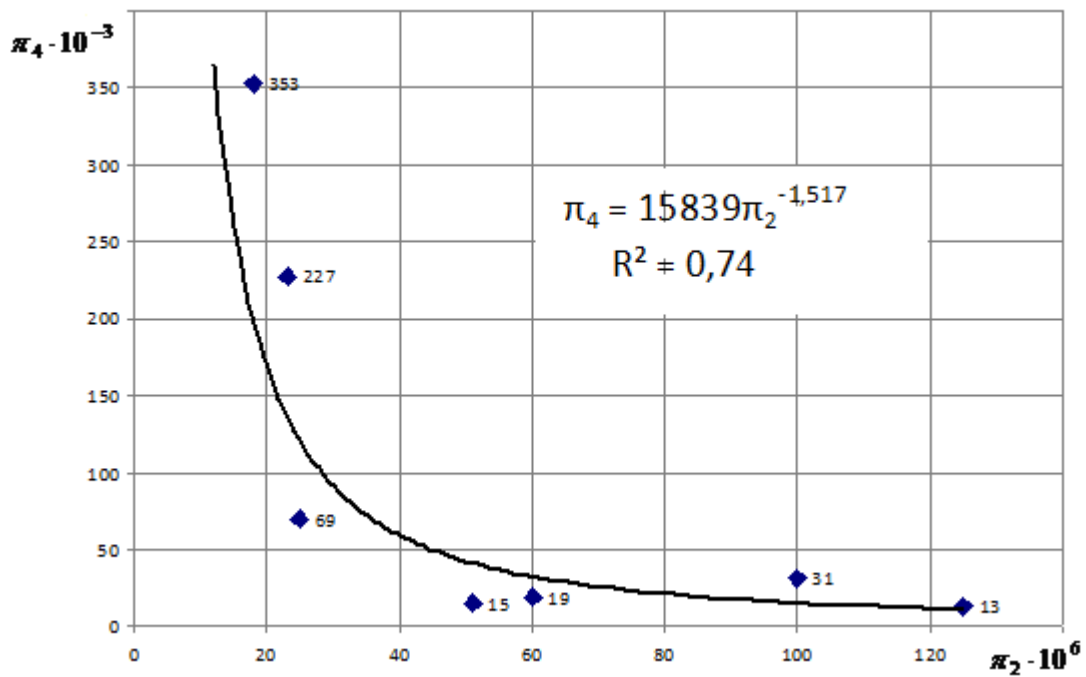


Рис. 2. Зависимость коэффициента технической эффективности модуля порошкового тушения π_4 от удельной дальности полета аэрозоля π_2

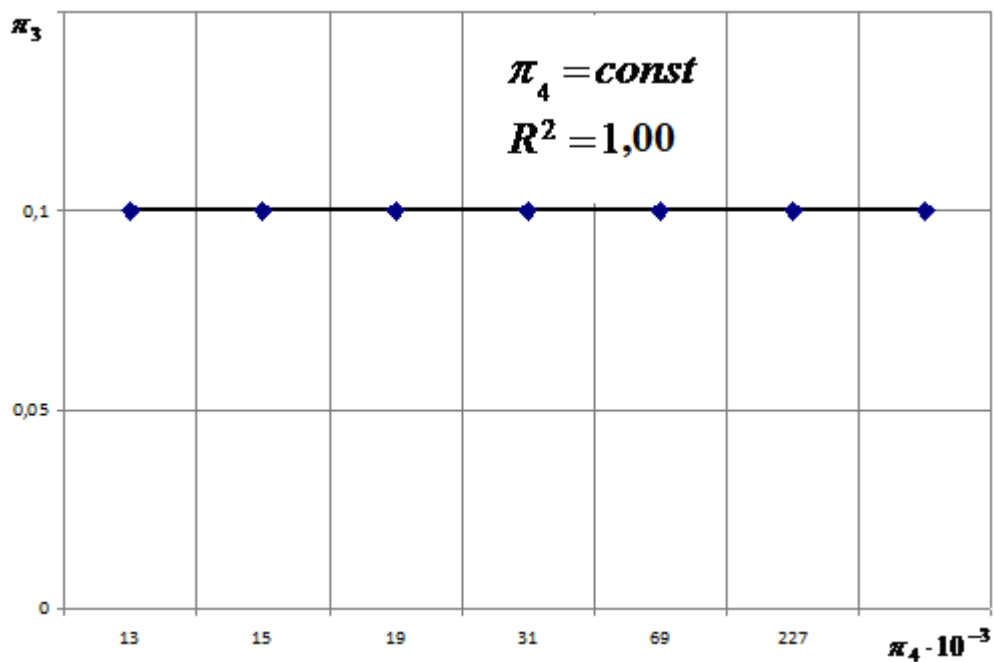


Рис. 3. Зависимость коэффициента технической эффективности модуля порошкового тушения π_4 от удельного остатка массы аэрозоля π_3

Как видно из графиков, коэффициент технической эффективности модуля порошкового тушения π_4 не зависит от численных значений комплексного показателя π_3 . Поэтому далее оценка эффективности дана только с использованием показателей π_1 и π_2 . Для этого, перемножив π_1^{-1} и π_2 , получили:

$$\pi_5 = \frac{L_n \cdot Q_n^3}{p_n \cdot v \cdot M_n^2}. \quad (1)$$

Уравнение (1) для понимания физического смысла преобразовано к следующему виду:

$$\pi_5 = \frac{L \cdot Q_n}{p \cdot v \cdot M^2} \cdot \frac{1}{Q_n^{-2}} = \frac{I_k}{I_0}. \quad (2)$$

В уравнении (2), в соответствии с физической сущностью механизма истечения огнетушащего вещества (ОТВ), представлены:

– величина $L \cdot Q = I_k$ – импульс ОТВ, долетевшего в точку гашения пламени;

– величина $\frac{p \cdot v \cdot M^2}{Q_n^2} = I_0$ – импульс ОТВ при истечении из модуля тушения

(на срезе лафетного ствола).

В этом случае можно утверждать, что величина комплексного показателя π_5 характеризует потенциальную возможность модуля средств пожаротушения: и чем она выше, тем эффективнее модуль.

Оценка эффективности модулей проведена расчетным методом для двух сценариев реализации пожароопасных ситуаций и пожаров:

– факельное горение струи газа или жидкости;

– горение пролива в обваловании, вследствие полного разрушения в нем резервуара с нефтью или нефтепродуктом.

При реализации рассматриваемых сценариев на основе зависимости (2) путем сравнения импульсов модулей пожарных автомобилей ($L_n \cdot Q_n$) и требуемых для тушения факела ($L_\phi \cdot Q_\phi$) или пролива ($J_n \cdot V_n$) могут быть решены две практические задачи:

– определены области возможного применения модулей для тушения факелов соответствующего дебита или проливов на соответствующей площади;

– проведена сравнительная оценка (ранжирование) эффективности модулей.

В обоих случаях приняты значения:

$L_\phi = 60$ м – безопасное удаление техники и людей от горящего факела [4];

Q_ϕ – необходимый расход ОТВ (кг/с) в точке гашения пламени при времени тушения 30 с [5];

V_n – номинальный объем резервуаров вертикальных стальных (РВС) со стационарной крышей, как наиболее пожароопасных, в соответствии с требованиями [6];

$J_n = 0,35$ кг/(м²·с) – интенсивность подачи порошка при тушении пролива нефти по справочнику [7].

Согласно «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности: СП 155.13130.2014» [8], РВС со стационарной крышей размещают группами, в замкнутых обвалованиях, допустимая общая номинальная вместимость которых не должна превышать 80 000 м³ (с единичным номинальным объемом резервуара – 50 000 м³). Расчетный объем вместимости обвалования должен быть не менее объема наибольшего резервуара этой группы.

Характеристики горящих фонтанов, проливов нефти в обваловании и ОТВ при реализации обоих сценариев представлены в табл. 4, 5.

Таблица 4. Характеристики горящих фонтанов и ОТВ [9]

Дебит фонтана газа (млн м ³ /сут) или нефти (тыс. м ³ /сут)	0,5	1	2	3	4	5	6	7
Требуемая масса порошка для тушения фонтана M , кг	55	130	250	430	690	1020	1460	2000
Необходимый расход порошка Q_{ϕ} , кг/с	1,8	4,3	8,3	14,3	23	34	48,7	66,7
Требуемый импульс порошка на тушение факела $L_{\phi} \cdot Q_{\phi}$, (кг·м/с)	108	258	498	858	1380	2040	2922	4002

Таблица 5. Взаимосвязь объема пролива нефти в обваловании и требуемого импульса порошка на его тушение (на примере размещенного в нем одного РВС)

Объем нефти в обваловании V_n , м ³	1000	2000	3000	5000	10000	20000	30000	40000	50000
Требуемый импульс порошка на тушение пролива нефти, $J_n \cdot V_n$, (кг·м)/с	350	700	1050	1750	3500	7000	10500	14000	17500

Технические характеристики серийных АП даны в табл. 6.

Таблица 6. Характеристики модулей серийных АП [10]

Показатели	Характеристики модулей АП						
	АП-5000 (53215)	АП-5000 - 60 (53215)	АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	АП-1000-40 (5301 БО)	АП-5 (53213), мод. 196	АП-4 (43105), мод. 222	АП-3 (130), мод. 148-А
Расход порошка Q_n , (кг/с)	40	50	50	40	40	80	40
Дальность струи порошка L_n , м	40	30	50	35	30	45	32
Запас порошка M , кг	5000	5000	5000	1000	6300	4000	3100
Импульс порошка $L_n \cdot Q_n$, (кг·м/с)	1600	1500	2500	1400	1200	3600	1280

Результаты оценки эффективности модулей порошкового тушения приведены в табл. 7 и 8, в которых (на основе сравнения величин импульсов) показаны области возможного и нецелесообразного применения модулей АП.

Таблица 7. Области применения модулей для тушения горящих факелов

Характеристики модулей АП		Дебит фонтана газа (млн м ³ /сут) или нефти (тыс. м ³ /сут)								
		0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	
		Требуемый импульс порошка для тушения фонтана, $L_n \cdot Q_n$, (м·кг)/с								
Марки АП	Импульс $L_n \cdot Q_n$, (м·кг)/с	108	258	498	858	1380	2040	2922	4002	
АП-5000 (53215)	1600	Применение для тушения возможно					Применение для тушения нецелесообразно			
АП-5000 -60 (53215)	1500	Применение для тушения возможно					Применение для тушения нецелесообразно			
АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	2500	Применение для тушения возможно						Применение для тушения нецелесообразно		
АП-1000-40 (5301 БО)	1400	Применение для тушения возможно					Применение для тушения нецелесообразно			
АП-5 (53213), мод. 196	1200	Применение для тушения возможно				Применение для тушения нецелесообразно				
АП-4 (43105), мод. 222	3600	Применение для тушения возможно							Не цел.	
АП-3 (130), мод. 148-А	1280	Применение для тушения возможно				Применение для тушения нецелесообразно				

Таблица 8. Области применения модулей для тушения пролива нефти в обваловании

Характеристики модулей АП		Объем нефти в обваловании, м ³								
		1000	2000	3000	5000	10000	20000	30000	40000	50000
		Импульс порошка на тушение пролива нефти, $J_n \cdot V_n$, (кг·м)/с								
Марки АП	Импульс $L_n \cdot Q_n$, м·кг/с	350	700	1050	1750	3500	7000	10500	14000	17500
АП-5000 (53215)	1600	Применение для тушения возможно			Применение для тушения нецелесообразно					
АП-5000 -60 (53215)	1500	Применение для тушения возможно			Применение для тушения нецелесообразно					
АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	2500	Применение для тушения возможно				Применение для тушения нецелесообразно				
Характеристики модулей АП		Объем нефти в обваловании, м ³								
		1000	2000	3000	5000	10000	20000	30000	40000	50000

Марки АП	Импульс $L_n \cdot Q_n$ м·кг/с	Импульс порошка на тушение пролива нефти, $J_n \cdot V_n$, (кг·м)/с								
		350	700	1050	1750	3500	7000	10500	14000	17500
АП-1000-40 (5301 БО)	1400	Применение для тушения возможно			Применение для тушения нецелесообразно					
АП-5 (53213), мод. 196	1200	Применение для тушения возможно			Применение для тушения нецелесообразно					
АП-4 (43105), мод. 222	3600	Применение для тушения возможно				Применение для тушения нецелесообразно				
АП-3 (130), мод. 148-А	1280	Применение для тушения возможно			Применение для тушения нецелесообразно					

Из полученных данных видно, что оценка эффективности модулей АП для тушения по обоим сценариям (факельное горение и горение пролива) дана в нечетких терминологических формулировках «Применение для тушения возможно» и «Применение для тушения нецелесообразно». Это объясняется тем, что импульс аэрозоля (движущегося ОТВ) оценен только по модулю, но фактически он является векторной величиной. Поэтому в реальной обстановке (с учетом температуры и давления окружающей среды, направления ветра, качественного состояния и расположения техники на местности, навыков личного состава в тушении пожаров этого типа, правильности оценки руководителем тушения пожара степени опасности ситуации и др.) эффективность техники может быть иной и, как правило, меньшей.

Представленные в статье результаты могут быть использованы при отработке типажа средств пожаротушения для горящих газовых и нефтяных фонтанов, проливов нефти и нефтепродуктов в обваловании, разработке технических требований на проектирование конкретных образцов модулей порошкового пожаротушения и подборе образцов серийных АП для защиты действующих опасных объектов нефтегазовой отрасли.

Литература

- ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2014. № 2 (53).
- Маркова Н.Б., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. Обеспечение эксплуатационной надежности пожарных автомобилей порошкового тушения // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 1.
- Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1977. С. 440.
- ППБО-85. Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2014. № 2 (53).
- Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат, 1987. С. 288.
- ГОСТ 31385–2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2014. № 2 (53).
- Теребнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: Пожтехника, 2004. С. 248.

8. СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2014. № 2 (53).

9. Повзик Я.С. Справочник руководителя тушения пожара. М., 2004. С. 361.

10. Маркова Н.Б., Филановский А.М., Поляков А.С. Комплексная оценка технической эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2014. № 3 (31). С. 17–23.