

# **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	$\nu$	м <sup>2</sup> /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	$\Delta m$	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  $79,38 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/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
$\pi_3$	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  $\pi_1$  и  $\pi_2$  имеют существенно другие численные значения.

Следовательно, входящая в комплекс  $\pi_3$  величина остатка массы  $\Delta m$  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  $\pi_4$  с другими комплексными показателями ( $\pi_1$ ,  $\pi_2$ ,  $\pi_3$ ) при довольно высокой корреляции между ними.

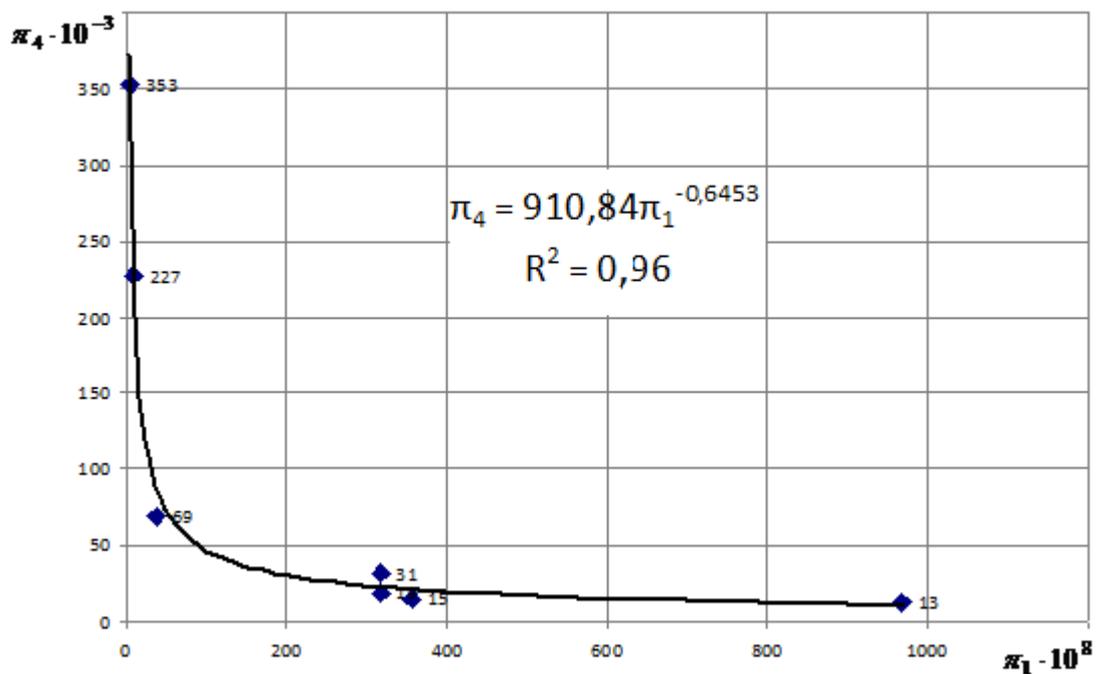


Рис. 1. Зависимость коэффициента технической эффективности модуля порошкового тушения  $\pi_4$  от удельного расхода аэрозоля  $\pi_1$

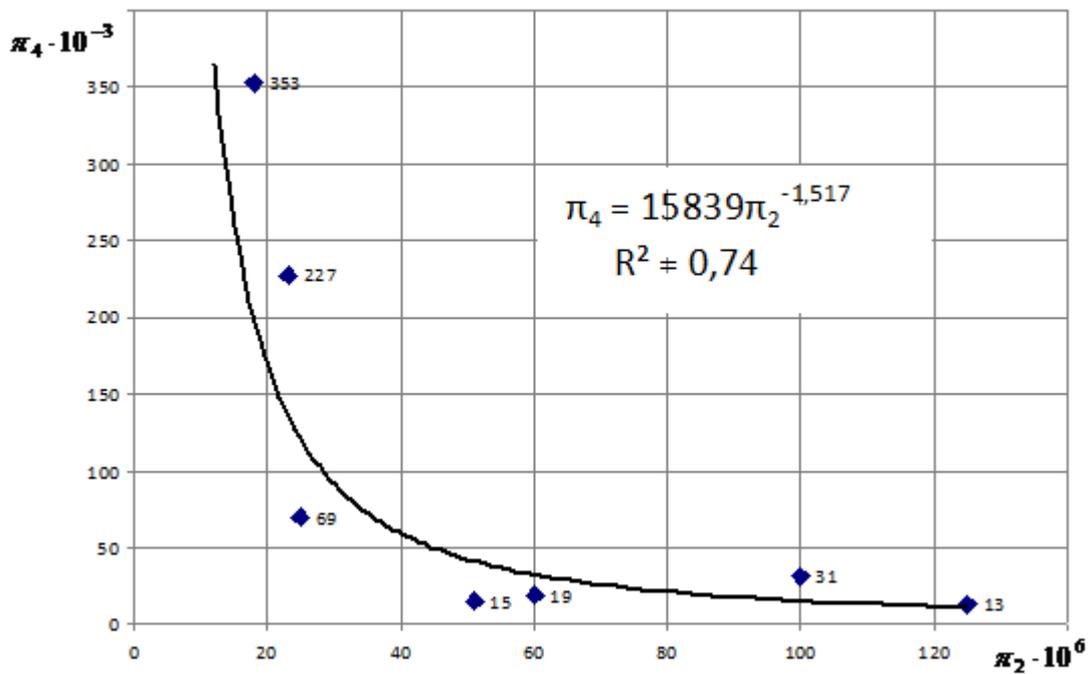


Рис. 2. Зависимость коэффициента технической эффективности модуля порошкового тушения  $\pi_4$  от удельной дальности полета аэрозоля  $\pi_2$

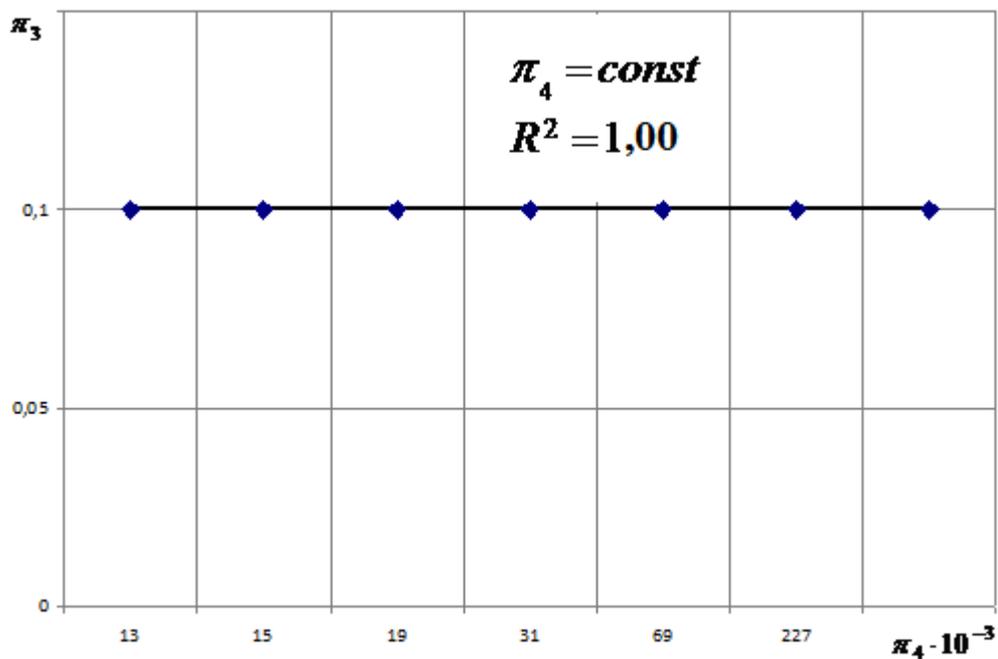


Рис. 3. Зависимость коэффициента технической эффективности модуля порошкового тушения  $\pi_4$  от удельного остатка массы аэрозоля  $\pi_3$

Как видно из графиков, коэффициент технической эффективности модуля порошкового тушения  $\pi_4$  не зависит от численных значений комплексного показателя  $\pi_3$ . Поэтому далее оценка эффективности дана только с использованием показателей  $\pi_1$  и  $\pi_2$ . Для этого, перемножив  $\pi_1^{-1}$  и  $\pi_2$ , 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  $\pi_5$  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];

$Q_\phi$  – 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/(м<sup>2</sup>·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 м<sup>3</sup> (с единичным номинальным объемом резервуара – 50 000 м<sup>3</sup>). 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 <sup>3</sup> /сут) или нефти (тыс. м <sup>3</sup> /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 $Q_{\phi}$ , 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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup> /сут) или нефти (тыс. м <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>								
		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 <sup>3</sup>								
		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-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.