ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПОРОШКОВЫХ ОГНЕТУШИТЕЛЕЙ

А.С. Поляков, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки Российской Федерации;
Д.Ф. Кожевин, кандидат технических наук, доцент;
И.А. Сорокин.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены вопросы эффективности порошковых огнетушителей в части их конструктивного исполнения и применяемого огнетушащего вещества. Приведены результаты исследования серийных и экспериментальных моделей порошковых огнетушителей, учитывающие сформированный безразмерный комплекс эффективности и подтверждающие целесообразность его практического применения.

Ключевые слова: эффективность, огнетушитель, огнетушащий порошок, испытания

METHOD FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF POWDER FIRE EXTINGUISHERS

A.S. Polyakov; D.F. Kozhevin; I.A. Sorokin.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The issues of efficiency of powder fire extinguishers in terms of their design and the fire extinguishing agent used are considered. The results of the study of serial and experimental models of powder fire extinguishers, taking into account the formed dimensionless efficiency complex and confirming the feasibility of its practical application, are presented.

Keywords: efficiency, fire extinguisher, fire extinguishing powder, testing

В современном понимании эффективность – это соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами [1]. Другими словами, эффективность – комплексный и одновременно интегральный показатель качества продукции, числитель которого должен отражать достигнутый результат, а знаменатель – использованные затраты для достижения этого результата. Его нельзя считать исключительно экономическим или только техническим показателем.

Применение термина к порошковым огнетушителям (как и для любого типа огнетушителей) вызывает необходимость выделить две составляющие эффективности – эффективность конструкции (Эк) и эффективность огнетушащую (Эо) как способность заданной массы огнетушащего вещества (ОТВ) потушить пожар.

Это следует из определения системы как совокупности взаимосвязанных и взаимодействующих самостоятельных элементов, образующих единство – порошковый

огнетушитель (ОП). Тем более, что при использовании одной и той же конструкции ОП могут применяться разнообразные по составу ОТВ.

Эффективность Эо принято оценивать рангом потушенного модельного очага пожара (МОП) и расходом ОТВ, пошедшего на тушение [2, 3]. Форма и размеры МОП установлены нормативными документами [2].

Эк оценивают косвенно: на основе работоспособности его элементов (например, по нормируемым значениям давления в корпусе, времени истечения и длины струи ОТВ), но итоговая оценка степени совершенства конструкции не предусмотрена нормативными документами.

Следовательно, необходимо определение ЭК ОП, исходя в первую очередь из тех характеристик, которые обеспечивают доставку в очаг пожара назначенной массы ОТВ на требуемое расстояние, в установленные сроки и при минимально необходимом давлении вытесняющего газа.

Далее показатели эффективности рассмотрены применительно к ОП.

В результате проведенного анализа требований, предъявляемых к показателям назначения, внутренней системе хранения и транспортирования огнетушащего порошка, авторами определены параметры, влияющие на Эк, их минимальные значения, а также вариант исполнения конструкции ОП.

Учитывая требования, предъявляемые к параметрам перспективных разработок систем хранения ОТВ [4–6], для оценки Эк ОП должен быть сформирован обобщенный безразмерный комплекс из следующих величин:

– расход ОТВ, $[Q_{отв}]$=кг/с;

– давление в огнетушителе, [P]=кг/(м·с^2);

– время выхода ОТВ, $[\tau_{вых}]$=с;

– длина струи ОТВ, $[L_{стр}]$=м.

На основании π-теоремы [7] сформирован безразмерный комплекс, отражающий Эк огнетушителя:

$$\pi_{эк} = Q_{отв} P^{x} L_{стр}^{y} \tau_{вых}^{z} .$$

Решение этого уравнения показывает, что при x=-1, y=-1, z=-1 безразмерный комплекс $\pi_{эк}$ принимает вид:

$$\pi_{эк} = \frac{Q_{отв}}{P L_{стр} \tau_{вых}} .$$

Правдоподобность комплекса не вызывает сомнения, так как он сформирован из величин, каждую из которых в настоящее время применяют при оценке ОП. Возможность и целесообразность практического использования комплекса подтверждена экспериментально на серийных и модельных образцах ОП, чему и посвящена данная статья.

Оценка эффективности серийных огнетушителей

ОП, применяемые при натурных огневых испытаниях, имели действующие сертификаты соответствия. Количество огнетушителей соответствовало предъявляемым требованиям [2]. Исследования огнетушащей способности проведены на ОП различных производителей.

В качестве образцов выбраны ОП-1 и ОП-2 (с массой ОТВ в количестве 1 кг и 2 кг соответственно).

На каждой модели ОП проведено три огневых испытания. В тех случаях, когда ОП не потушил пожар заявленного ранга, проводили тушение МОП ранга ниже заявленного производителем (например, для ОП-2 – на соответствие рангу 13В).

Результаты исследования эффективности ОП представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1. **Результаты исследования огнетушителей ОП-1 и ОП-2 по тушению МОП ранга 13В**

Условное обозначение ОП	Масса, кг					Заявляемый ранг МОП	Результат эксперимента по тушению
	огнетушителя			порошка в огнетушителе			
	до испытаний		после испытаний	до испытаний (по паспорту)	после испытаний фактически		
	по паспорту	Факти-чески					
ОП-1(з)-АВСЕ	1,55±0,05	1,605	0,985	1,00±0,05	0,535 (от 51,0 до 56,3 %)*	13В	не потушен
	1,55±0,05	1,615	1,050	1,00±0,05	0,565 (от 53,8 до 59,5 %)*	13В	не потушен
	не более 1,8	1,720	0,705	1,00±0,05	0,070 (от 7,4 до 6,7 %)*	13В	потушен
	1,65±0,05	1,600	0,995	1,00±0,05	0,400 (от 42,1 до 38,1 %)*	13В	не потушен
ОП-1(з)-АВСЕ МИГ	не более 2,2	2,000	1,060	1,00±0,05	0,060 (от 6,3 до 5,7 %)*	13В	потушен
ОП-2(г)-АВСЕ-01	–	3,560	1,850	2,0±0,2	0,390 (от 21,7 до 17,7 %)*	21В	13В не потушен**
ОП-2(з)-АВСЕ	3,0±0,1	2,900	1,610	2,0±0,1	0,490 (от 16,9 до 15,8 %)*	21В	13В не потушен**
	2,9±0,1	2,900	1,005	2,0±0,1	0,105 (от 5,8 до 4,8 %)*	21В	13В потушен**
	не более 3,1	2,850	0,920	2,0±0,1	0,045 (от 2,4 до 2,1 %)*	21В	13В потушен**

Примечание: * – в скобках количество порошка, оставшегося после проведения эксперимента. Диапазон с учетом допуска погрешности заправки огнетушителя порошком на производстве (в соответствии с паспортом); ** – дополнительная серия испытаний по тушению МОП ранга 13В назначалась после неудовлетворительного результата при тушении МОП ранга 21В

Результаты экспериментов (табл. 1, 2) показали, что большинство образцов ОП-1 не способно тушить заявленные МОП ранга 13В. Более того, некоторые экземпляры ОП-2 не справляются не только с заявляемыми рангами МОП, но и не способны тушить меньшие ранги. Так отдельные образцы ОП-2 не справились с тушением даже МОП ранга 13В.

По результатам огневых испытаний сертифицированных ОП рассчитан безразмерный комплекс эффективности $\pi_{эк}$ (табл. 3).

Таблица 2. **Результаты исследования огнетушителей ОП-2 по тушению МОП ранга 21В**

Условное обозначение ОП	Масса, кг					Заявляемый ранг МОП	Результат эксперимента по тушению
	огнетушителя			порошка в огнетушителе			
	до испытаний		после испытаний	до испытаний (по паспорту)	после испытаний фактически		
	по паспорту	Факти-чески					
ОП-2(з)-АВСЕ	не более 4,0	2,810	0,920	2,00±0,05	0,205 (от 10,5 до 10,0 %)*	21В	потушен
	не более 4,0	2,780	0,860	2,00±0,05	0,190 (от 9,7 до 9,3 %)*	21В	потушен
ОП-2(г)-АВСЕ-01	–	3,560	1,850	2,0±0,2	0,390 (от 21,7 до 17,7 %)*	21В	не потушен
ОП-2(з)-АВСЕ-01	2,9±0,1	2,900	1,005	2,0±0,1	0,105 (от 5,8 до 4,8 %)*	21В	не потушен
	не более 3,1	2,850	0,920	2,0±0,1	0,045 (от 2,4 до 2,1 %)*	21В	не потушен
ОП-2(з)-АВСЕ МИГ	не более 3,6	3,330	1,305	2,0±0,1	0,115 (от 6,1 до 5,6 %)*	21В	потушен

Таблица 3. **Значения безразмерного комплекса $\pi_{эк}$ сертифицированных ОП**

Условное обозначение ОП	Результат тушения стандартного МОП	Величины безразмерного комплекса				Значение комплекса $\pi_{эк}$
		расход ОТВ, Q, кг/с	давление в огнетушителе, P кг/(м·с^2)	время выхода ОТВ, $\tau_{вых}$, с	длина струи ОТВ L, м	
ОП, соответствующие ОП-1 (по массе заряда ОТВ)						
ОП-1(з)-АВСЕ	не потушен	0,082	$1{,}6\cdot10^6$	6	2	$4{,}25\cdot10^{-3}$
	не потушен	0,077				$3{,}99\cdot10^{-3}$
	потушен	0,155				$8{,}07\cdot10^{-3}$
	не потушен	0,100				$4{,}25\cdot10^{-3}$
ОП-1(з)-АВСЕ МИГ	потушен	0,157	$1{,}6\cdot10^6$	6	2	$8{,}16\cdot10^{-3}$
ОП, соответствующие ОП-2 (по массе заряда ОТВ)						
ОП-2(з)-АВСЕ	потушен	0,302	$1{,}6\cdot10^6$	6	3	$10{,}47\cdot10^{-3}$
	потушен	0,300				$10{,}42\cdot10^{-3}$
ОП-2(г)-АВСЕ-01	не потушен	0,201	$1{,}2\cdot10^6$	8	3	$6{,}99\cdot10^{-3}$
ОП-2(з)-АВСЕ-01	не потушен	0,238	$1{,}4\cdot10^6$	8	3	$7{,}07\cdot10^{-3}$
	не потушен	0,245				$9{,}28\cdot10^{-3}$
ОП-2(з)-АВСЕ МИГ	потушен	0,315	$1{,}6\cdot10^6$	6	3	$10{,}94\cdot10^{-3}$

В результате огневых испытаний сертифицированных ОП получены следующие значения эффективности (в условных единицах):

– огнетушители ОП-1, успешно потушившие МОП ранга 13В, имеют $\pi_{эк}$ от $8{,}07\cdot10^{-3}$ до $8{,}16\cdot10^{-3}$;

– огнетушители ОП-1, не справившиеся с тушением МОП ранга 13В, имеют $\pi_{эк}$ от $3{,}99 \cdot 10^{-3}$ до $4{,}25 \cdot 10^{-3}$;

– огнетушители ОП-2, успешно потушившие МОП ранга 21В, имеют $\pi_{эк}$ от $10{,}42 \cdot 10^{-3}$ до $10{,}94 \cdot 10^{-3}$;

– огнетушители ОП-2, не справившиеся с тушением МОП ранга 21В, имеют $\pi_{эк}$ от $6{,}99 \cdot 10^{-3}$ до $9{,}28 \cdot 10^{-3}$.

Таким образом, для оценки эффективности огнетушителей по комплексу $\pi_{эк}$ могут быть установлены значения в диапазоне $8{,}07 \cdot 10^{-3} \div 8{,}16 \cdot 10^{-3}$ для ОП-1 и $10{,}42 \cdot 10^{-3}$ до $10{,}94 \cdot 10^{-3}$ для ОП-2.

Оценка эффективности перспективных конструкций огнетушителей

Исследована экспериментальная модель ОП в двух вариантах исполнения, отличающихся размерами и количеством отдельных изолированных друг от друга сосудов для хранения огнетушащего порошка: 1 вариант имеет четыре сосуда диаметром 40 мм каждый, 2 вариант – шесть сосудов с диаметром 32 мм.

Оба варианта конструкций со встроенной пористой емкостью обеспечивают остаток порошка менее допускаемых стандартом 15 %. Лучшие из них обеспечивают возможность уменьшения остатка порошка до 1–2 % (при давлении 0,8 МПа), остальные варианты – не более 7,5 %.

Экспериментально подтверждено, что масса оставшегося после срабатывания огнетушителя соответствует предъявляемым требованиям. Однако наилучший результат имеет конструкция с четырьмя параллельно соединенными отдельными сосудами для ОТВ.

Определение огнетушащей способности осуществлено тушением МОП рангов 13В и 21В при массе заряда ОТВ 1 кг и 2 кг, соответствующих стандартным зарядам огнетушителей ОП-1 и ОП-2.

В результате огневых испытаний по тушению МОП рангов 13В и 21В получены положительные результаты, то есть очаги успешно потушены и самовоспламенения не произошло ни в одном случае.

Для сравнения эффективности экспериментального образца ОПэ с сертифицированными образцами рассчитан безразмерный комплекс $\pi_{эк}$ (табл. 4).

Таблица 4. **Значения безразмерного комплекса $\pi_{эк}$ экспериментальных образцов ОПэ**

Условное обозначение ОП	Результат тушения стандартного МОП	Величины безразмерного комплекса				Значение комплекса $\pi_{эк}$
		расход ОТВ, Q, кг/с	давление в огнетушителе, P кг/(м·с^2)	время выхода ОТВ, $\tau_{вых}$, с	длина струи ОТВ L, м	
ОП, соответствующие ОП-1 (по массе заряда ОТВ)						
ОП-1э (вариант исполнения 1)	потушен	0,163	$0{,}8 \cdot 10^6$	6	2	$16{,}98 \cdot 10^{-3}$
ОП-1э (вариант исполнения 2)	потушен	0,153				$15{,}97 \cdot 10^{-3}$
ОП, соответствующие ОП-2 (по массе заряда ОТВ)						
ОП-2э (вариант исполнения 1)	потушен	0,308	$0{,}8 \cdot 10^6$	6	3	$21{,}39 \cdot 10^{-3}$
ОП-2э (вариант исполнения 2)	потушен	0,307	$0{,}8 \cdot 10^6$	6	3	$21{,}32 \cdot 10^{-3}$

По результатам испытания получены следующие значения безразмерного комплекса $\pi_{эк}$:

– для ОПэ (с массой заряда ОТВ 1 кг) – от $15{,}97 \cdot 10^{-3}$ до $16{,}98 \cdot 10^{-3}$;

– для ОПэ (с массой заряда ОТВ 2 кг) – от $21{,}32 \cdot 10^{-3}$ до $21{,}39 \cdot 10^{-3}$.

Характерно то, что ОПэ с меньшим остатком ОПС после срабатывания имеет большее значение безразмерного комплекса $\pi_{эк}$. При этом значения безразмерного комплекса $\pi_{эк}$ экспериментального образца ОПэ больше, чем для испытанных сертифицированных огнетушителей (табл. 3).

Оценка экономической составляющей эффективности испытанных огнетушителей проведена по методу Парето [8, 9]. Диаграмма с результатами оценки разделена прерывистыми линиями на зоны эффективности огнетушителей (A, B, C, D), где $\pi_э$ – рейтинговый показатель *i*-го ОП; $\pi_{ср}$ – среднее значение рейтинговых показателей ОП; c_i – стоимость *i*-го ОП; $c_{ср}$ – среднее значение стоимости ОП (рис.).

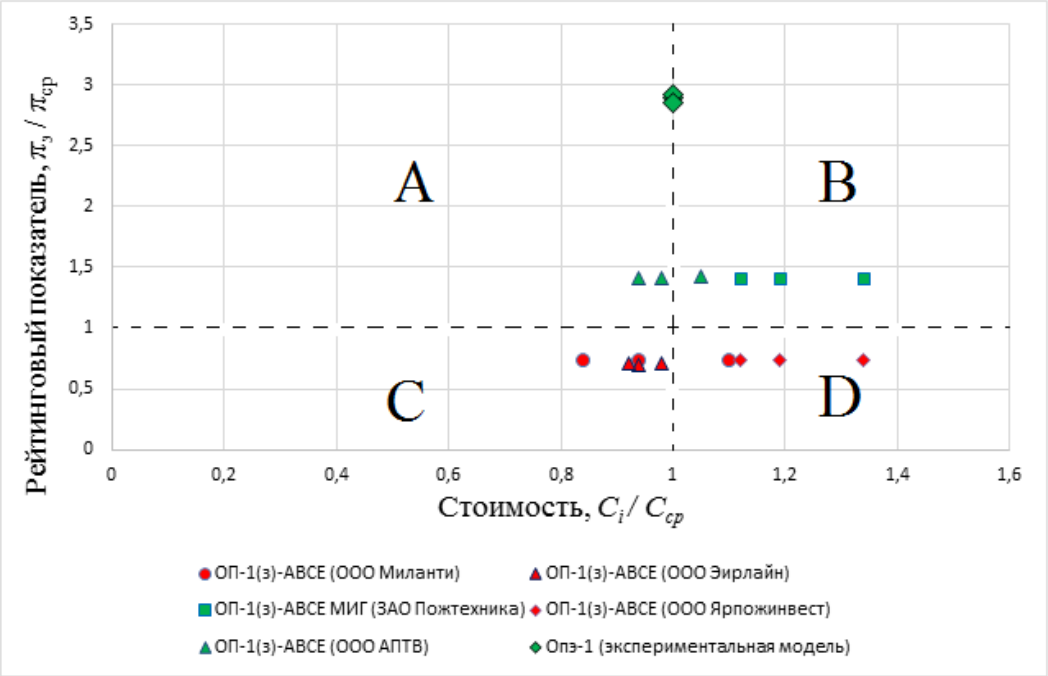

Рис. **Сравнение эффективности огнетушителей ОП-1 по рейтинговому показателю**

В соответствии с методом Парето, попадание огнетушителя в зоны A или B свидетельствует
о его эффективности. Разница состоит в наименьшей (зона A) или более высокой (зона B) стоимости огнетушителя, а при попадании огнетушителя в зону C или D – о его неэффективности, независимо от стоимости. Данное положение подтверждено проведенными огневыми испытаниями по определению огнетушащей способности:

1. Для огнетушителей с массой заряда ОПС 1 кг:

– маркеры, выделенные красным цветом на диаграмме, расположены в зонах C и D и соответствуют огнетушителям, которые не справились с тушением МОП, и не могут быть отнесены к эффективным вне зависимости от их стоимости;

– маркеры, имеющие зеленый цвет и расположенные в зонах A и B, соответствуют огнетушителям, потушившим МОП. Такие огнетушители подтвердили свою эффективность, хотя имеют высокую стоимость.

2. Для огнетушителей с массой заряда ОПС 2 кг эффективность испытанных огнетушителей распределилась в аналогичном порядке.

3. Рациональное соотношение (наименьшая стоимость и наибольший эффект) показала экспериментальная модель ОП в исполнении ОПэ-1 и ОПэ-2.

Выводы

Минимальные значения безразмерного комплекса эффективности $\pi_{эк}$ у экспериментальной модели ОП в два раза больше, чем у серийных ОП, и составляют $16{,}67 \cdot 10^{-3}$ для ОПэ-1 и $22{,}01 \cdot 10^{-3}$ для ОПэ-2.

Сертифицированные ОП подтвердили соответствие значениям определенного для ОП-1 и ОП-2 диапазона (табл. 3). Экспериментальная модель ОПэ имеет значения безразмерного комплекса $\pi_{эк}$, превосходящие установленные диапазоны для огнетушителей с массами заряда 1 кг и 2 кг в два раза (табл. 4), что говорит об эффективности данной модели ОП.

Результаты испытаний, полученные на одном и том же ОТВ (огнетушащий порошок марки «Вексон-АВС 25»), позволяют исключить его влияние на эффективность конструкции и сделать следующее заключение:

– показатель $\pi_{эк}$ пригоден для оценки эффективности конструкции ОП;

– конструкции экспериментального ОП с пористой емкостью для хранения ОТВ по эффективности превосходят серийные образцы-аналоги.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (Издание с Поправкой). URL: http://docs.cntd.ru (дата обращения: 01.02.2020).

2. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: http://docs.cntd.ru (дата обращения: 01.09.2019).

3. ГОСТ Р 53280.4–2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4: Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний. URL: http://docs.cntd.ru (дата обращения: 01.09.2019).

4. Кожевин Д.Ф., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. Полезная модель порошкового огнетушителя с пористым сосудом для огнетушащего состава // Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 1. С. 79–82.

5. Сытдыков М.Р., Кожевин Д.Ф., Поляков А.С. Оценка совершенства пневматического тракта порошковых огнетушителей на основе метода анализа размерностей // Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 4. С. 51–54.

6. Сытдыков М.Р., Кожевин Д.Ф., Поляков А.С. Оценка характеристик порошковых огнетушителей, определяющих полноту вытеснения огнетушащего состава // Проблемы управления рисками в техносфере. 2011. № 4 (20). С. 16–24.

7. Бриджмен, П. Анализ размерностей. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 148 с.

8. Виноградов И.М. Математическая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1977–1985.

9. Ногин В.Д. Логическое обоснование принципа Эджворта – Парето // Журнал вычислительной математики и вычислительной техники. 2002. Т. 42. № 7. С. 951–957.

10. Технические условия ТУ 2149-028-10968286-2014. Огнетушащий порошок «ВЕКСОН® - АВС 25». URL: https://ecochim.ru (дата обращения: 01.09.2019).

References

1. GOST R ISO 9000–2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozheniya i slovar' (Izdanie s Popravkoj). URL: http://docs.cntd.ru (data obrashcheniya: 01.02.2020).

2. GOST R 51057–2001. Tekhnika pozharnaya. Ognetushiteli perenosnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytanij. URL: http://docs.cntd.ru (data obrashcheniya: 01.09.2019).

3. GOST R 53280.4–2009. Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskie. Ognetushashchie veshchestva. CHast' 4: Poroshki ognetushashchie obshchego naznacheniya. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytanij. URL: http://docs.cntd.ru (data obrashcheniya: 01.09.2019).

4. Kozhevin D.F., Sytdykov M.R., Polyakov A.S. Poleznaya model' poroshkovogo ognetushitelya s poristym sosudom dlya ognetushashchego sostava // Pozharovzryvobezopasnost'. 2012. № 1. S. 79–82.

5. Sytdykov M.R., Kozhevin D.F., Polyakov A.S. Ocenka sovershenstva pnevmaticheskogo trakta poroshkovyh ognetushitelej na osnove metoda analiza razmernostej // Pozharovzryvobezopasnost'. 2012. № 4. S. 51–54.

6. Sytdykov M.R., Kozhevin D.F., Polyakov A.S. Ocenka harakteristik poroshkovyh ognetushitelej, opredelyayushchih polnotu vytesneniya ognetushashchego sostava // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2011. № 4 (20). S. 16–24.

7. Bridzhmen, P. Analiz razmernostej. Izhevsk: NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», 2001. 148 s.

8. Vinogradov I.M. Matematicheskaya enciklopediya. M.: Sovetskaya enciklopediya, 1977–1985.

9. Nogin V.D. Logicheskoe obosnovanie principa Edzhvorta – Pareto // Zhurnal vychislitel'noj matematiki i vychislitel'noj tekhniki. 2002. T. 42. № 7. S. 951–957.

10. Tekhnicheskie usloviya TU 2149-028-10968286-2014. Ognetushashchij poroshok «VEKSON® - AVS 25». URL: https://ecochim.ru (data obrashcheniya: 01.09.2019).