

УДК 614.842.611/615

koksharovab@e1.ru

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА И КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ ТВЁРДОЙ ФАЗЫ
НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕНОПОРОШКОВЫХ ОГНЕТУШАЩИХ СОСТАВОВ****INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SOLID PHASE PARTICLES SIZE
AND CONCENTRATION ON THE STABILITY OF FOAM-POWDER FIRE
EXTINGUISHING COMPOSITIONS**

*Кокшаров А. В., кандидат химических наук, доцент,
Гайнуллина Е. В., кандидат технических наук, доцент,
Кондратьева М. Л., кандидат химических наук,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Koksharov A., Gaynullina E., Kondratieva M.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

Идея создания комбинированного пенопорошкового состава заключается в усилении огнетушащего действия пены за счёт повышения устойчивости её объёма и использования изолирующего действия порошка, который будет покрывать поверхность горючих веществ после разрушения пены. В данной работе изучалось влияние размера твёрдых частиц на устойчивость объёма пены и синерезис. На истечение жидкости существенную роль оказывает способность твёрдой фазы сорбироваться на плёнках, что значительно повышает гидравлические сопротивления и снижает скорость истечения жидкой фазы. Было установлено, что частицы, соизмеримые с размерами плёнок и пенных каналов, вызывают их местные разрывы и снижают устойчивость пены. Частицы меньшего размера не оказывают влияния на устойчивость объёма пены.

Ключевые слова: воздушно-механическая пена, пенообразователь, дисперсность, твердые частицы, размер частиц, устойчивость пены, пенные каналы, абсорбция, синерезис.

The idea of creating a combined foam-powder composition is to enhance the foam fire-extinguishing effect of by increasing the stability of its volume and using the insulating effect of the powder, which will cover the surface of combustible substances after the foam is destroyed. The influence of the solid particles size of combined foam-powder compositions on the stability of the foam volume and its syneresis was studied in this paper. The ability of the solid phase to be absorbed on films significantly increases the hydraulic resistance and reduces the flow rate of the liquid phase. It was found that particles commensurate with the size of films and foam channels cause their local breaks and reduce the stability of the foam. Smaller particles do not affect the stability of the foam volume.

Keywords: air-mechanical foam, foaming agent, dispersion, solid particles, particle size, foam stability, foam channels, absorption, syneresis.

У большинства используемых огнетушащих веществ преобладает один из механизмов огнегасящего действия, другие же проявляются значительно слабее. В то же время при тушении открытых пожаров веществами объемного и объемно-поверхностного действия, такими как порошковые

и газовые составы, часто сталкиваются с проблемой их направленной подачи в зону горения и большими потерями при рассеивании в окружающую среду. Следовательно, наиболее перспективным направлением решения проблемы создания высокоэффектив-

ных средств пожаротушения является разработка составов комбинированного действия, соединяющих в себе основные свойства различных огнетушащих веществ [1]. При этом важным является достижение так называемого синергетического эффекта их комбинированного действия при огнетушении, когда эффективность действия смеси превышает простую сумму свойств (воздействий) всех ее компонентов [2].

В качестве огнетушащих веществ комбинированного действия наибольший интерес представляют пены, содержащие порошковые частицы, так называемые пенопорошки. Идея заключается в усилении огнетушащего действия пены за счёт повышения устойчивости её объёма и использования изолирующего действия порошка, который будет покрывать поверхность горючих веществ после разрушения пены. Кроме того, подача высокодисперсных порошковых частиц в составе пенной струи обеспечит попадание максимального их количества в зону горения и на поверхность горящего вещества, что позволит значительно сократить расход порошковых составов не только за счёт увеличения эффективности тушения, но и за счёт снижения их нецелевых потерь.

Известны работы, в которых уже были предприняты попытки соединить в одну огнетушащую композицию пену и порошок. В патентах RU 2622815 и RU 2622303C1 [3, 4] рассмотрено устройство получения пены, содержащей частицы калиевых солей, вносимых путем барботажа огнетушащего аэрозоля через слой пенообразователя. Размер аэрозольных частиц составлял несколько микрон.

Пены, содержащие твёрдые частицы, в качестве которых выступают такие напол-

нители, как цемент, песок, вяжущие вещества и др., широко используются в строительной отрасли. В литературе отмечается, что основным разрушающим пены фактором является синерезис, несмотря на то, что присутствие твёрдой фазы его замедляет [5–7].

Противопожарная пена, в отличие от газобетонной, должна обладать гораздо большей текучестью, чтобы её можно было подавать по рукавным линиям. Следовательно, количество жидкой фазы в ней должно быть больше, чем в газобетонной, что будет способствовать усилению синерезиса.

Изучение синерезиса в противопожарных пенах проводили по методикам, отработанным ранее и представленным в работах [8–10]. При изучении каких-либо свойств пены очень сложно добиться воспроизводимости результатов, поскольку получить пены одинакового дисперсного состава и кратности крайне сложно.

Для приготовления пены в работе использовалось механическое перемешивающее устройство, изготовленное из сетки с ячейками 1,5 мм. Пену взбивали до кратности, равной 10, затем переносили в градуированный цилиндр объёмом 350 мл, в котором определяли объём выделившейся жидкости. Для получения пены использовался пенообразователь общего назначения ПО-6РЗ.

В качестве твёрдой дисперсной добавки использовали оксиды кремния (SiO_2) и алюминия (Al_2O_3), а также тальк ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).

Данные порошки имеют различную дисперсность. Сравнительный размер частиц представлен на фотографиях, полученных с использованием микроскопа при одинаковом увеличении (рис. 1).

SiO₂Al₂O₃Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂

Рисунок 1. Порошкообразные частицы использованных веществ при одинаковом увеличении

В результате проведённых исследований были получены кинетические кривые истечения жидкости из пены при различном

содержании в ней добавок твердых порошкообразных материалов (рис. 2).

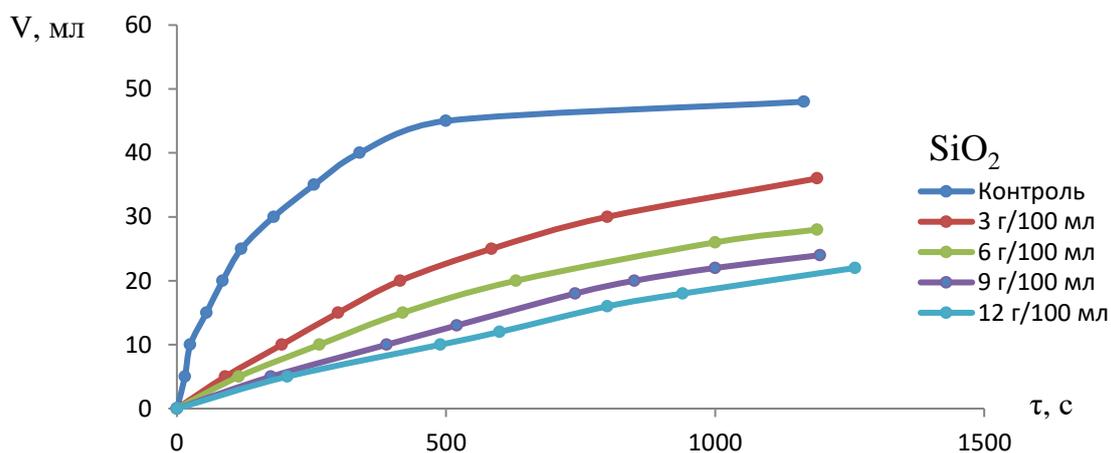


Рисунок 2. Кинетические кривые истечения жидкости из пены в зависимости от содержания оксида кремния

Как показывают результаты, введение в пену порошковых частиц затрудняет истечение жидкой фазы, а скорость истечения коррелирует с их концентрацией. Предположительно, это связано с возникновением гидравлических сопротивлений в узлах пенных каналов и плёнках при включении в них твердой дисперсной фазы.

На фотографиях, сделанных с помощью микроскопа, видно, что частицы оксида кремния концентрируются в местах слияния пенных каналов, образуя «пробку» (рис. 3). Частицы порошка являются прозрачными, поэтому их сложно увидеть в растворе. Однако они деформируют пенную плёнку, и при освещении под определённым углом в месте нахождения частицы порошка образуется блик света (рис. 3).

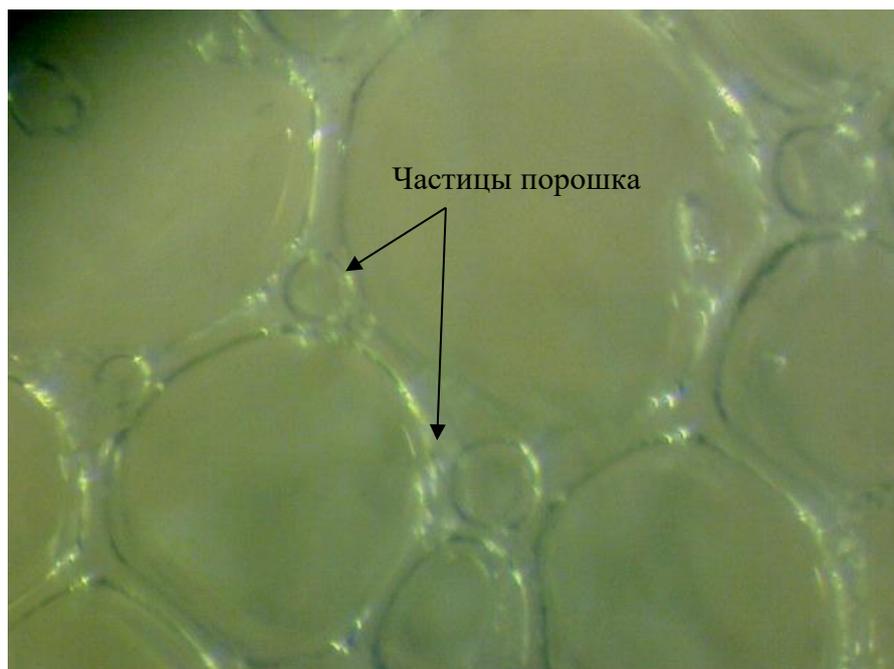


Рисунок 3. Фотография пены, содержащей частицы оксида кремния

При использовании талька также были получены результаты, аналогичные описанному выше (рис. 4.)

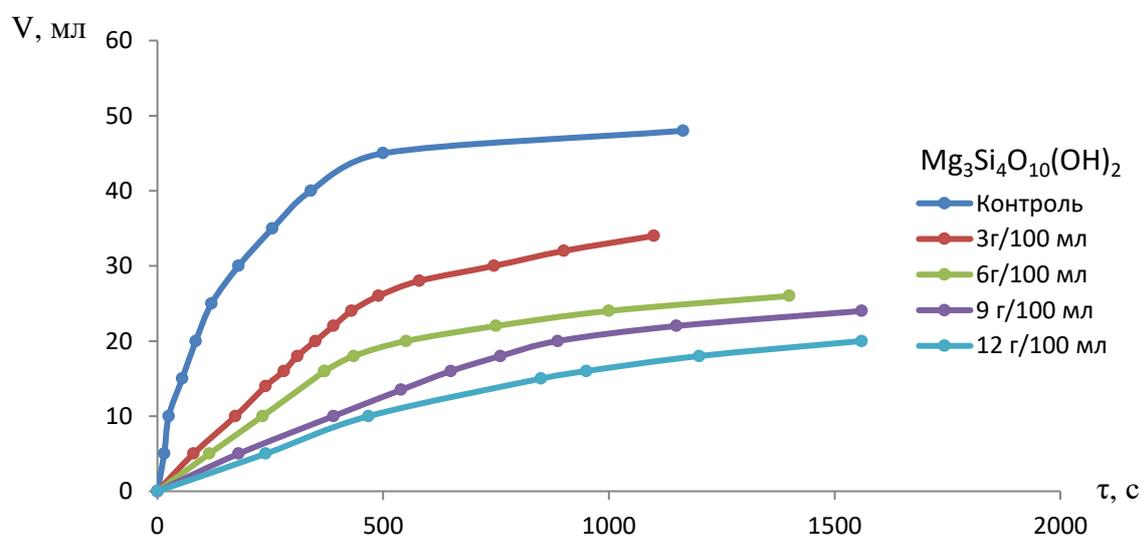


Рисунок 4. Кинетические кривые истечения жидкости из пены в зависимости от содержания талька

Интересно отметить тот факт, что мелкие частицы талька сильнее замедляют истечение жидкости по сравнению с оксидом кремния. По-видимому, это связано с количеством твёрдой фазы, находящейся в пенных плёнках, содержание которой было определено с помощью гравиметрии.

После получения пену выдерживали в течение 30 минут, затем отбирали образец и взвешивали его на аналитических весах (табл. 1). Отобранный образец помещали в сушильный шкаф и выдерживали при температуре 50 °С до полного высыхания. Массу

твёрдого остатка, приходящегося на 100 г, пены, определяли по формуле:

$$\omega = \frac{m_{\text{тв.ост.}}}{m_{\text{п}}} \cdot 100,$$

где ω – содержание твёрдой фазы, г/100 г пены;

$m_{\text{тв. ост.}}$ – масса твёрдого остатка после сушки пены, г;

$m_{\text{п}}$ – масса образца пены, г.

Таблица 1

Результаты гравиметрического определения содержания твёрдой фазы в пене

Добавка	Оксид кремния (SiO ₂)			Тальк (Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂)		
	Масса пены, г	Масса сухого остатка, г	Содержание твёрдой фазы, г/100 г	Масса пены, г	Масса сухого остатка, г	Содержание твёрдой фазы, г/100 г
3	0,8157	0,2468	30,3	0,5893	0,2539	43,1
6	1,5180	0,4652	30,6	1,210	0,5379	44,5
9	3,0500	1,0120	33,2	1,566	0,6686	42,7
12	3,1700	1,0880	34,3	1,797	0,7733	43,0

Как и ожидалось, часть твёрдой фазы сорбируется в пене и по мере истечения жидкости из пленок происходит обогащение пены твердой фазой (табл. 1). Талька в пене удерживается больше, чем оксида кремния, что объясняет более низкую скорость истечения жидкости вследствие увеличения гидравлического сопротивления каналов.

Интересно отметить, что количество адсорбированного порошка в пене не зависит от его содержания в исходном пенообразующем растворе (табл. 1).

Поскольку введение порошка приводит к уменьшению скорости истечения жидкости из пены, то верхний слой пены будет содержать больше влаги, что должно привести к увеличению времени высыхания и соответственно продлить время существования пены.

Увеличение времени существования пенного слоя имеет практическое значение, например, при покрытии пеной нефтепродукта при его разливе для предотвращения образования пожароопасной среды. Также при авариях пенопорошковым слоем можно

изолировать поверхность разлива токсичных веществ для предотвращения попадания их в окружающую среду, поскольку слой твердых частиц и пены на поверхности вещества будет препятствовать его испарению с образованием токсичных облаков. Исходя из сказанного, важным является оценить влияние твёрдой фазы на устойчивость объёма пены.

Исследование устойчивости объёма пены проводили в широких химических стаканах объёмом 1000 мл. При использовании узкой посуды пена прилипает к её краям и удерживается на них, что значительно снижает воспроизводимость результатов и повышает погрешность измерений.

Пену получали механическим взбиванием 6 % раствора пенообразователя ПО-БРЗ, содержащим определённое количество порошка, до кратности 20. После замерыли время разрушения 25 % и 50 % объёма пены (табл. 2).

Важным условием при проведении эксперимента является постоянство температуры и влажности в помещении, которые составили 25 °С и 70 % соответственно.

Таблица 2

Время разрушения пены в зависимости от содержания порошка в растворе, мин

Время разрушения пены в зависимости от содержания $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ (тальк), мин						
Содержание порошка в 100 мл раствора, г	0 (контроль)	3	6	9	12	15
Время разрушения 25 % объёма пены, мин	48	49	60	65	57	54
Время разрушения 50 % объёма пены, мин	101	95	103	91	108	98
Время разрушения пены в зависимости от содержания Al_2O_3 , мин						
Содержание порошка в 100 мл раствора, г	0 (контроль)	3	6	9	12	15
Время разрушения 25 % объёма пены, мин	55	20	21	15	16	14
Время разрушения 50 % объёма пены, мин	115	31	30	28	26	25
Устойчивость объёма пены в зависимости от содержания SiO_2 , мин						
Содержание порошка в 100 мл раствора, г	0 (контроль)	3	6	9	12	15
Время разрушения 25 % объёма пены, мин	40	27	31	30	27	27
Время разрушения 50 % объёма пены, мин	99	47	50	45	45	44

Как показал анализ полученных результатов, введение талька не повлияло на устойчивость пены. Добавление порошка оксида алюминия и оксида кремния приводит к значительному уменьшению времени разрушения пены.

Поскольку данные соединения являются химически инертными как по отношению к воде, так и к компонентам пенообразователя, то причина снижения устойчивости пены связана с тем, что частицы порошка могут создавать местные разрывы жидкостных пленок, которые приводят к их полному разрушению [11].

Среди исследуемых веществ наибольшим разрушающим действием обладают оксиды кремния и алюминия по причине крупных размеров частиц. В процессе истечения жидкости толщина пенной плёнки становится соизмеримой с размерами частиц порошка, которые вызывают её разрыв.

На фотографиях верхнего слоя пены, сделанных с помощью микроскопа, видно, что частицы оксида кремния сорбируются на плёнке и вызывают образование локальных разрывов, которые в совокупности значительно снижают прочность плёнки и затем она рвётся (рисунок 5).

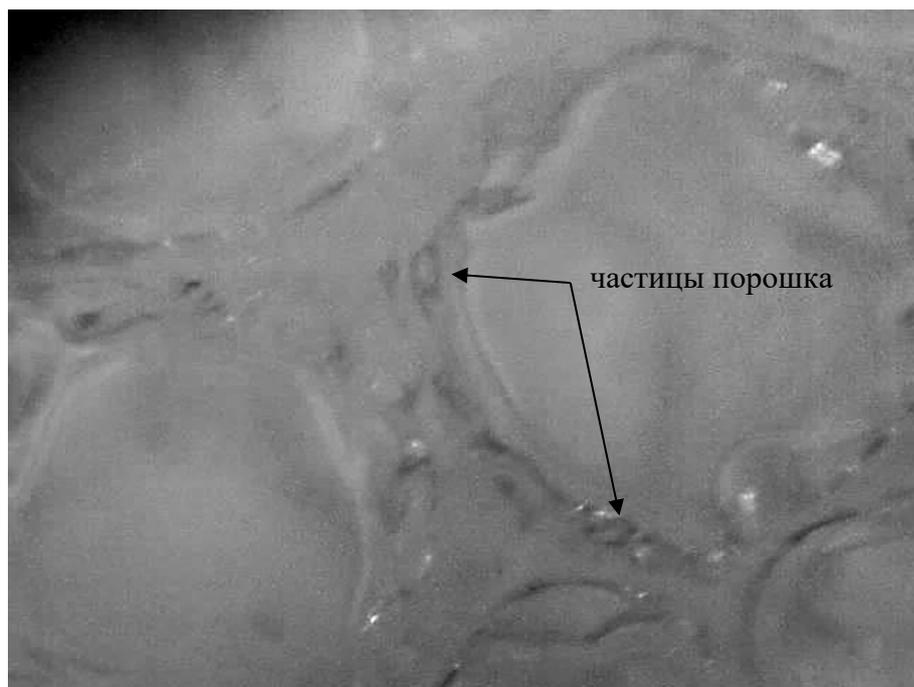


Рисунок 5. Фотография верхнего слоя пены, содержащей частицы оксида кремния

Более мелкие частицы талька не разрушают прослойку жидкости, а разрыв плёнки происходит вследствие потери её механической прочности при достижении критической толщины.

Таким образом, в ходе проведения лабораторных исследований было установлено влияние твёрдых частиц различной дисперсности на устойчивость объёма пены и синерезис.

На истечение жидкости существенную роль оказывает способность твёрдой фазы сорбироваться в плёнках, что значительно повышает гидравлическое сопротивление плёнок и снижает скорость истечения жидкой фазы.

Установлено, что с увеличением размера частиц снижается время разрушения пены, что связано с возникновением местных проколов пенных плёнок частицами порошка.

Литература

1. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие средства. Химико-физические процессы при горении и тушении. М., 1975. 240 с.
2. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности / А. Н. Баратов, Е. Н. Иванов. М., 1979. 368 с.
3. Патент РФ №2622815, 20.06.2017 Устройство для получения самовспенивающейся газонаполненной пены // Патент России №2016114621; 14.04.2016 № 17 / Копылов Н. П., Копылов С. Н., Забегаев В. И., Агафонов В. В., Кузнецов А. Е., Родионов Е. С., Кононов Б. В.
4. Патент РФ №2622303С1, 14.06.2017 Комбинированный состав для пожаротушения, способ комбинированного пожаротушения и микрокапсулированный огнегасящий агент // Патент России №2016100669; 11.01.2016 / Забегаев В. И.
5. Меркин А. П. Научные и практические основы улучшения структуры и свойств поризованных бетонов: дисс. докт. техн. наук. М., 1971. 270 с
6. Сидоренко Ю. В. О подходах к задаче математического моделирования процессов структурообразования пенобетонов // Моделирование. Теория, методы и средства: мат. 5-й Международной научно-практической конференции, Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ). – 2005. – Ч. 1. – С. 33–39.
7. Феклистов В. Н. К оценке формирования пенобетонной структуры различной плотности // Строительные материалы. 2002. № 10. С. 16.
8. Кокшаров А. В. Повышение огнетушащей способности пены низкой кратности // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2013. № 4 (9). С. 48–49.

9. Кокшаров А. В. и др. Стабилизация пены низкой кратности натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23, № 10. С. 79–83.

10. Кокшаров А. В., Марков В. Ф. Повышение устойчивости пены к обезвоживанию производными полисахаридов и полиакрилатом натрия // Техносферная безопасность. 2014. № 3 (4). С. 31–34. URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.

11. Яковлев А. А., Турицына М. В., Кузнецов А. С. Исследование влияния различных реагентов на разрушение пен и предупреждение пенообразования у буровых растворов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2015. № 15. С. 48–56.

References

1. Schreiber G., Post P. Ognetchashie sredstva. Chimiko-fisicheskie protsessy pri gorenii i tushenii. M., 1975. 240 p.

2. Pozarotushenie na predpriyatiyah himicheskoy b neftepererabativaychey promyshlennosti / A. N. Baranov, E. N. Ivanov. M., 1979. 368 p.

3. Patent RF No. 2622815, 20.06.2017 Ustroystvo dlia polucheniya samovspenivayisheisia gazonapolnennoy peny // Patent Rossiya No. 2016114621; 14.04.2016 No. 17 / Kopylov N. P., Kopylov S. N., Zabegaev V. I., Agafonov V. V., Kuznetsov A. E., Rodionov E. S., Kononov B. V.

4. Patent RF No. 2622303C1, 14.06.2017 Kombinirovanniy sostav dlia pozarotushenia, sposob kombinirovannogo pozarotushenia i microkapsulirovanniy ognegesachiy agent // Patent Rossiya No. 2016100669; 11.01.2016 / Zabegaev V. I.

5. Merkin A. P. Nauchniye i prakticheskiye osnovy ulucheniya strukturu i svoystv porizovannuch betonov: diss. doct. techn. nauk. M., 1971. 270 p.

6. Sidorenko Yu. V. O podkhodakh k zadachiy matematicheskogo modelirovaniya protsessov strukturoobrazovaniya penobetonov: Modelirovaniye. Teoriya, metody i sredstva: mat. 5 Mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferenziyu. Novocherkassk, 2005. Chast 1. P. 33–39.

7. Feklistov V. N. K otzenke formirovaniua penobetonnoy strukturu razlichnoy plotnostiy // Stroitelnyie materialy. 2002. No. 10. P. 16.

8. Koksharov A. V. Povusheniye ognetchashiey sposobnosiy penu nizkoiy kratnostiy // Vestnik Voronezhskogo Instituta of GPS MCHS Russiyi. 2013. № 4 (9). P. 48–49.

9. Koksharov A. V. et al. Stabilizatsiya penu nizkoiy kratnostiy natrieovoy soliy karboksimeytlzelluloziy // Pozharovzrubezopasnost. 2014. T. 23, No. 10. P. 79–83.

10. Koksharov A. V., Markov V. F. Povusheniye ustoichivostiy penu k obezvozhivaniyu proizvodnumi polisacharidov i poliakrilatom natriya // Technosphernaya bezopasnost. 2014. No. 3 (4). P. 31–34. URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.

11. Yakovlev A. A., Turitsyna M. V., Kuznetsov A. S. Issledovaniye vlianiua raslichnuch reagentov na razruscheniye pen i preduprezhdeniye penoobrazovaniua u burovuch rastvorov // Vestnik PNRPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo. 2015. № 15. P. 48–56.