

УДК 614.841.343:539.097

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0038

**МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ В УСТАНОВКАХ  
ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ**

© 2021

**Михайлова Валерия Игоревна**, аспирант**Ивахнюк Григорий Константинович**, доктор химических наук,

профессор кафедры «Пожарная безопасность технологических процессов и производств».

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**(196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 149, e-mails: gidralera@rambler.ru, fireside@inbox.ru)*

**Аннотация.** Статья посвящена проблеме охлаждения вертикальных стальных резервуаров парков хранения нефтепродуктов на объектах нефтегазового комплекса в условиях углеводородного пожара. Рассмотрены водногелевые составы, модифицированные с помощью переменного частотно-модулированного потенциала, в качестве основного охлаждающего агента в стационарных кольцах орошения резервуара в сравнении с водой. В статье приведены данные расчетов товарно-сырьевых запасов для производства модифицированных водногелевых составов непосредственно на территории резервуарного парка; определена интенсивность подачи водногелевых составов на орошение в зависимости от их концентрации. Разработаны принципиальные схемы приготовления и подачи водногелевых составов на охлаждение резервуаров и методические рекомендации для аварийно-спасательных подразделений объектов нефтегазового комплекса по применению водногелевых составов для охлаждения резервуаров в условиях пожара. Предложенная инновационная методика применения водногелевых составов в стационарных и мобильных установках тепловой защиты резервуарных парков хранения нефтепродуктов позволит снизить расход воды на охлаждение в условиях недостатка сил и средств при тушении пожара и может стать средством превентивного и текущего управления природными и техногенными явлениями разрушительного и пожароопасного характера на территории резервуарного парка.

**Ключевые слова:** гидрогели, водногелевые составы, электрофизическая модификация, тепловая защита, переменный частотно-модулированный потенциал, углеводородный пожар.

**METHOD OF USING HYDROGEL IN THERMAL PROTECTION INSTALLATIONS  
FOR PETROLEUM TANKS**

© 2021

**Mikhailova Valeria Igorevna**, postgraduate student**Ivakhnyuk Grigory Konstantinovich**, doctor of Chemistry,

professor of the Department of Fire Safety of Technological Processes and Production

*(196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149, e-mails: gidralera@rambler.ru, fireside@inbox.ru)*

**Abstract.** The article is devoted to the problem of cooling petroleum tanks of storage parks at the facilities of the oil and gas complex under conditions of a jet fire. Hydrogel compositions, modified by a variable frequency-modulated potential, are considered as the main cooling agent in stationary irrigation rings of a reservoir in comparison with water. The article presents the data of calculations of commodity stocks for the production of modified hydrogel compositions directly on the territory of the tank park; the intensity of the supply of hydrogel compositions for irrigation is determined, depending on their concentration. Basic schemes for the preparation and supply of hydrogel compositions for cooling tanks and methodological recommendations for emergency rescue units of oil and gas facilities on the use of hydrogel compositions for cooling tanks in jet fire conditions have been developed. The proposed innovative method of using hydrogel compositions in stationary and mobile installations for thermal protection of tank parks for storing petroleum products will reduce water consumption for cooling in conditions of a lack of forces and means when extinguishing a fire and can become a means of preventive and current management of natural and man-made phenomena of a destructive and fire hazardous nature tank park.

**Keywords:** hydrogel, electrophysical modification, thermal protection, variable frequency modulated potential, jet fire.

**Введение.** При развитии пожара в резервуарных парках хранения нефти и нефтепродуктов, как правило, происходит разгерметизация и срыв крыши резервуаров с последующим горением по всей поверхности жидкости, перелив нефтепродуктов за пределы обвалования [1, 2].

Интенсивный тепловой поток, возникающий в следствии факельного горения резервуара, приводит к разогреву соседних с горящим резервуаров и каскадному распространению аварии (эффекту «домино») в

резервуарном парке [3-5].

В ходе развития пожара согласно [6] вероятны следующие сценарии развития аварии:

- пожар развивается в одном резервуаре и не влияет на соседние резервуары в РП;
- пожар распространяется в пределах одной резервуарной группы;
- пожар распространяется в пределах всего РП и может выйти за пределы парка.

Для развития определенного сценария пожара од-

ним из наиболее важных факторов является тепловой режим [7, 8]. Распределение температур внутри горячей жидкости резервуара зависит от физико-химических свойств хранимых жидкостей, от обводненности хранимых жидкостей, метеоусловий, а также характера обрушения крыши (если оно произошло).

Своевременная организация охлаждения [9] стенок горящих и соседних с ними резервуаров позволяет предотвратить каскадный сценарий развития ЧС в резервуарном парке, снизить время свободного развития пожара, уменьшить накопление тепловой энергии в горячей жидкости, а следовательно – снизить объем огнетушащих веществ.

**Целью** авторского исследования является разработка методики применения инновационного теплового агента для использования в стационарных установках охлаждения резервуарных парков.

**Материалы и результаты исследования.** На основании экспериментальных данных и данных, полученных в результате гидравлического моделирования [10], можно предложить модифицированные с помощью переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП) водногелевые составы (ВГС) с концентрацией 0,1 масс.% гелеобразователя в качестве охлаждающего вещества в стандартных системах охлаждения для всех типовых РВС.

На рисунке 1 представлена схема технологической линии по производству ВГС на объекте защиты.

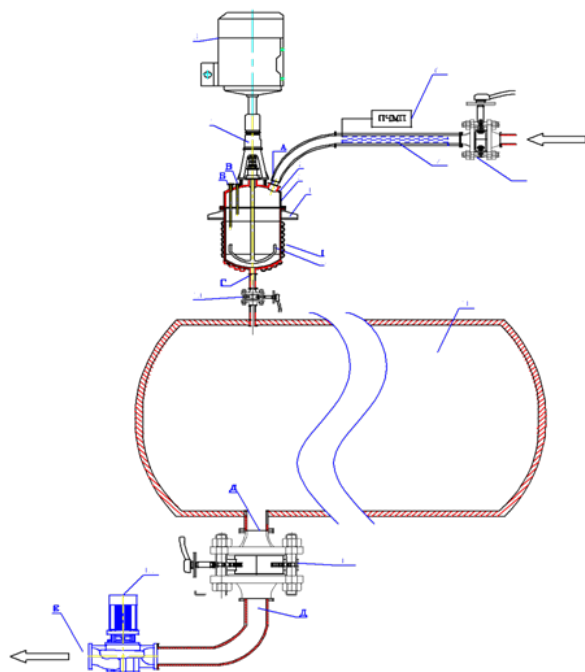


Рисунок 1 – Принципиальная схема технологической линии по производству модифицированных ВГС на объекте защиты: А – вход воды; Б – вход РАП (через дозатор); В – вход гелеобразователя (аммиак); Г – выход гидрогеля в накопительную емкость; Д – выход гидрогеля в насос; Е – выход гидрогеля в систему охлаждения; 1 – привод мешалки; 2 – крышка люка; 3 – корпус аппарата; 4 – опора; 5 – якорная мешалка; 6 – генератор ПЧМП; 7 – сетка волновода; 8 – электродвигатель; 9, 10, 12 – задвижки; 11 – цистерна; 13 – насос.

От источника водоснабжения происходит подача воды через трубопровод, оснащенный волноводом генератора ПЧМП, в аппарат, оснащенный якорной мешалкой. Затем включается привод мешалки и в аппарат вводится необходимое количество гелеобразователя – редкосшитого акрилового полимера (РАП). После того, как произошло перемешивание воды и РАП, в аппарат вводится раствор аммиака для образования полимерных связей в цепочках РАП. Процесс приготовления ВГС подробно описан в [11, 12]. Скорость вращения ротора мешалки, скорости подачи воды и РАП определяются в зависимости от количества ВГС, которое необходимо приготовить. Температурный режим не оказывает существенного влияния на процесс приготовления ВГС, тем не менее, по некоторым данным [13] температура воды порядка 4°C является предпочтительной. Это связано с тем, что вблизи критических температурных точек, вода наиболее полно проявляет свои аномальные свойства – в нашем случае важны преимущественно теплоемкость, теплопроводность и способность к образованию кластерных структур.

После приготовления ВГС поступает в накопительную емкость, из которой будет происходить подача состава в систему охлаждения.

Оборудование по производству ВГС необходимо располагать в отапливаемых помещениях. Складирование РАП должно осуществляться в помещениях с контролируемой влажностью, в следствие гидрофильных свойств РАП. Трубопроводы подачи воды на линию по производству ВГС и трубопроводы подачи ВГС в систему охлаждения резервуаров необходимо заглублять в грунт с учетом региональных норм, либо предусматривать наличие греющего кабеля, для предотвращения промерзания. В остальном процессы приготовления, хранения и использования ВГС не требуют специальных условий, что несомненно является актуальным на объектах повышенной опасности, к которым относятся объекты нефтегазового комплекса.

Для нейтрализации ВГС допускается использовать аммиачную воду (25% водный раствор аммиака), что снижает класс опасности объекта, в отличие от использования более высоких концентраций аммиака [14].

Емкости для хранения аммиака проектируются и исполняются в соответствии с установленными нормами проектирования, при соблюдении необходимых мероприятий по промышленной безопасности объектов.

В случае возникновения пожара запускается привод задвижки на расходной емкости с ВГС и начинается подача ВГС на орошение резервуара соседнего с горящим.

Требуемый запас ВГС различных концентраций на объекте защиты может быть определен по формуле [15]:

$$Q_{\text{Общ}} = q_{\text{ВГС}} \cdot \tau_{\text{ВГС}} \cdot \rho_{\text{мши}} \cdot K \quad (1)$$

где  $q_{ВГС}$  – расход ВГС;  $\tau_{ВГС}$  – расчетное время тушения;  $K$  – коэффициент запаса времени.

$$q_{ВГС} = I \cdot S \quad (2)$$

где  $I$  – требуемая интенсивность орошения;  $S$  – площадь орошения.

В таблице 1 приведены данные о необходимых запасах РАП, аммиака и воды на объекте защиты для целей охлаждения различных по объемам резервуаров.

На основании данных таблицы 1 можно сделать вывод о снижении количества воды на нужды охлаждения при использовании ВГС в качестве охлаждающего агента практически в 2 раза, что может стать решающим фактором в условиях недостатка сил и средств для ликвидации ЧС.

Предлагаемые для целей охлаждения ВГС с улучшенными теплофизическими свойствами (теплоемкостью, теплопроводностью и адгезией к металлам) позволят увеличить время наступления предельного состояния металлоконструкций резервуара, тем са-

мым снизить вероятность свободного развития пожара, выход его за пределы обвалования и границы резервуарного парка. Также существует возможность применения ВГС совместно с уже известными ОТВ, такими как воздушно-механические пены различных кратностей [16]. Первоочередной задачей в действиях пожарных подразделений при тушении пожаров в резервуарах типа РВС, согласно [6, 7], является организация охлаждения горящего и соседних резервуаров с применением водяных стволов и (или) стационарных установок охлаждения.

Охлаждение горящего резервуара следует производить по всей длине окружности стенки резервуара, а соседних с ним – по длине полуокружности, обращенной к горящему резервуару [6, 18].

При охлаждении с помощью модифицированных ВГС интенсивность подачи на охлаждение следует принимать в зависимости от концентраций ВГС согласно данным таблицы 2.

Таблица 1 – Необходимые товарно-сырьевые запасы на объекте защиты

Тип РВС		5000	10000	10000	20000	20000	30000	40000	50000
Кол-во, т									
Вотв, т ( $\phi=0$ )		1064,159	1449,738	1739,686	2029,633	2426,404	2319,581	2894,389	3087,688
РАП, т		-	-	-	-	-	-	-	-
Аммиак, т		-	-	-	-	-	-	-	-
Вода, т		1064,159	1449,738	1739,686	2029,633	2426,404	2319,581	2894,389	3087,688
Вотв, т ( $\phi=0,1$ )		612,488	834,412	1001,295	1168,177	1396,543	1335,060	1665,897	1777,152
РАП, т		0,612	0,834	1,001	1,168	1,397	1,335	1,666	1,777
Аммиак, т		0,612	0,834	1,001	1,168	1,397	1,335	1,666	1,777
Вода, т		611,041	832,577	999,125	1165,613	1393,811	1332,059	1662,454	1775,375
Вотв, т ( $\phi=0,2$ )		1844,651	2513,028	3015,634	3518,239	4206,015	4020,845	5017,239	5352,309
РАП, т		0,369	0,503	0,603	0,704	0,841	0,804	1,003	1,070
Аммиак, т		1,845	2,513	3,016	3,518	4,206	4,021	5,017	5,352
Вода, т		1842,437	2510,012	3012,015	3514,017	4200,968	4016,020	5011,218	5345,886
Вотв, т ( $\phi=0,25$ )		2141,418	2917,323	3500,788	4084,252	4882,678	4667,717	5824,410	6213,387
РАП, т		5,354	7,293	8,752	10,211	12,207	11,669	14,561	15,533
Аммиак, т		2,141	2,917	3,501	4,084	4,883	4,668	5,824	6,213
Вода, т		2133,923	2907,113	3488,535	4069,958	4865,588	4651,380	5804,025	6191,640
Вотв, т ( $\phi=0,3$ )		1036,518	1412,082	1694,499	1976,915	2363,380	2259,332	2819,210	3007,488
РАП, т		3,110	4,236	5,083	5,931	7,090	6,778	8,458	9,022
Аммиак, т		1,037	1,412	1,694	1,977	2,363	2,259	2,819	3,007
Вода, т		1032,372	1406,434	1687,721	1969,008	2353,927	2250,295	2807,933	2995,458
Вотв, т ( $\phi=0,4$ )		1279,037	1742,474	2090,968	2439,463	2916,350	2787,958	3478,833	3711,163
РАП, т		5,116	6,970	8,364	9,758	11,665	11,152	13,915	14,845
Аммиак, т		1,279	1,742	2,091	2,439	2,916	2,788	3,479	3,711
Вода, т		1272,642	1733,761	2080,513	2427,266	2901,769	2774,018	3461,439	3692,607
Вотв, т ( $\phi=0,5$ )		965,846	1315,804	1578,965	1842,126	2202,241	2105,287	2626,991	2802,432
РАП, т		4,829	6,579	7,895	9,211	11,011	10,526	13,135	14,012
Аммиак, т		0,966	1,316	1,579	1,842	2,202	2,105	2,627	2,802
Вода, т		960,051	1307,909	1569,491	1831,073	2189,027	2092,655	2611,229	2785,617
Вотв, т ( $\phi=1,0$ )		3506,886	4777,546	5733,055	6688,564	7996,103	7644,073	9538,328	10175,334
РАП, т		35,069	47,775	57,331	66,886	79,961	76,441	95,383	101,753
Аммиак, т		3,507	4,778	5,733	6,689	7,996	7,644	9,538	10,175
Вода, т		3468,310	4724,993	5669,991	6614,990	7908,146	7559,988	9433,406	10063,405

Таблица 2 – Интенсивность подачи ВГС на охлаждение

Концентрация геля, масс. %	Интенсивности подачи модифицированных ВГС на охлаждение, л·с <sup>-1</sup> на метр длины окружности резервуара типа РВС								
	Горящий РВС			Соседний с горящим РВС (негорящий)			Пожар в обваловании		
	Для колец орошения		Стволами от передней пожарной техники	Для колец орошения		Стволами от передней пожарной техники	Для колец орошения		Стволами от передней пожарной техники
	высота РВС более 12 м	высота РВС 12 м и менее		высота РВС более 12 м	высота РВС 12 м и менее		высота РВС более 12 м	высота РВС 12 м и менее	
0 (вода)	0,75	0,50	0,8	0,30	0,20	0,3	1,10	1,00	1,2
0,1	0,30	0,20	0,32	0,12	0,08	0,12	0,45	0,41	0,49
0,2	0,76	0,51	0,81	0,30	0,20	0,30	1,12	1,01	1,22
0,25	1,33	0,89	1,42	0,53	0,35	0,53	1,95	1,77	2,13
0,3	1,27	0,85	1,36	0,51	0,34	0,51	1,87	1,70	2,04
0,4	0,96	0,64	1,02	0,38	0,26	0,38	1,41	1,28	1,54
0,5	1,61	1,08	1,72	0,65	0,43	0,65	2,37	2,15	2,58
1	2,78	1,85	2,97	1,11	0,74	1,11	4,08	3,71	4,45

Согласно [6] охлаждение резервуаров объемом 5000 м<sup>3</sup> и более целесообразно осуществлять лафетными стволами.

При определении технологии подачи охлаждающего агента, а также количества лафетных стволов, необходимо руководствоваться [6].

Для резервуаров объемом более 5000 м<sup>3</sup> необходи-

мо предусматривать стационарные установки охлаждения, состоящие из секционного кольца орошения и технологических трубопроводов [18].

На рисунке 2 представлена принципиальная схема охлаждения резервуара типа РВС-5000 с применением ВГС в системе орошения резервуара и пожарной техникой в условиях пожара.

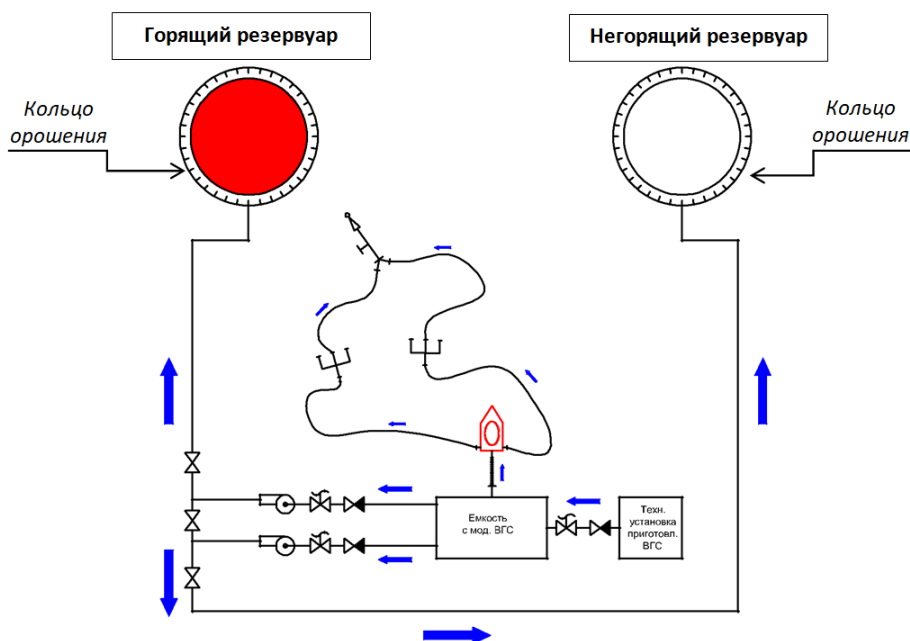


Рисунок 2 – Принципиальная схема охлаждения резервуара типа РВС-5000 с применением ВГС в системе орошения резервуара и пожарной техникой в условиях пожара

Перед началом боевого развертывания и подачи ВГС руководитель тушения пожара выбирает и указывает личному составу наиболее безопасные и кратчайшие пути прокладки рукавных линий, переноса оборудования и инвентаря. Также, указывает места установки пожарных автомобилей с оборудованием для подачи ВГС и располагает личный состав на безопасном расстоянии с учетом возможного вскипания, выброса, разлива горячей жидкости и положения зоны задымления [15].

Подготовка личного состава аварийно-спасательных и пожарных подразделений в рамках пожарно-тактических учений должна включать в себя отработку действий по применению ВГС на объектах НГК с потенциальным применением ВГС. На объектах НГК, имеющих резервуарные парки, оснащенные системами охлаждения с применением ВГС, необходимо оборудовать технологические линии по производству и хранению ВГС, а также обучить персонал объектов правилам безопасной работы с РАП и аммиаком.

При эксплуатации производственных линий по приготовлению ВГС особое внимание следует уделить параметрам влажности и температуры помещений, в которых располагаются технологические линии и места хранения сырья для производства ВГС. Так как РАП обладает повышенными гидрофильными свойствами, в том числе, способностью впитывать влагу из окружающей среды [19, 20], помещения должны быть сухими, то есть с относительной влаж-

ность в помещениях допускается 60% и менее.

Кольца и сухотрубы систем орошения должны содержаться в исправном состоянии, периодически проверяться на наличие дефектов и обслуживаться согласно нормативным регламентам объекта.

При подготовке к подаче ВГС на охлаждение необходимо убедиться в наличии трехкратного запаса ОТВ на объекте для обеспечения защиты резервуаров от теплового воздействия в течение всего времени ликвидации ЧС.

**Заключение.** Таким образом, методика применения ВГС для целей тепловой защиты, разработанная на основании экспериментальных и теоретических данных и исследований, включает в себя:

1. Принципиальные схемы приготовления и подачи ВГС на охлаждение резервуаров на объектах НГК.
2. Данные о необходимых товарно-сырьевых запасах для реализации тактико-технических мероприятий по применению ВГС для целей охлаждения резервуаров.
3. Методические рекомендации по применению ВГС для целей охлаждения в резервуарных парках на объектах НГК силами аварийно-спасательных подразделений объекта.

Данная методика может применяться, как средство превентивного и текущего управления природными и техногенными явлениями разрушительного и пожароопасного характера, сопровождающимися значительным ущербом.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Gomez-Mares M., Zarate L., Casal J., Jet fire and the domino effect. // Fire safety journal. 2008. №43. P.583-588.
2. Скрипник И.Л., Моделирование сценариев развития чрезвычайных ситуаций и расчет риска в типовом резервуарном парке нефтебазы [Электронный ресурс] / И.Л. Скрипник, С.В. Воронин, Т.Т. Каверзнева // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». - 2019. - №4. - Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-szenariyev-razvitiya-chrezvychaynyh-situatsiy-i-raschet-riska-v-tipovom-rezervuarom-parke-neftebazy>
3. Котляревский В.А., Безопасность резервуаров и трубопроводов / В.А. Котляревский, А.А. Шаталов, Х.М. Ханухов - М.: Экономика и информатика, 2000. - 555 с.
4. Азаров Н.И., Анализ возможности каскадного развития аварий на взрывопожароопасных объектах / Н.И. Азаров, О.В. Давидюк, Н.В. Кошовцев, М.В. Лисанов // Безопасность труда в промышленности. - 2007. - №5. С.42-47
5. Сучков В.П., Актуальные проблемы обеспечения устойчивости к возникновению и развитию пожара технологий хранения нефти и нефтепродуктов. - М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1995.
6. Руководство по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. М.: ГУГПС, ВНИИПО МВД России, 1999. 86 с.
7. Марков В.Ф., Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. Пособие / В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева, М.П. Миронов, С.Н. Пазникова - Екатеринбург: УрО РАН, - 2011. С. 272.
8. Шароварников А.Ф., Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / А.Ф. Шароварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С.А. Шароварников - М.: Пожнаука, 2007. - 380 с.
9. Керимов У.А., Анализ влияния охлаждения стенок резервуаров струями воды на процесс горения и тушения легковоспламеняющихся жидкостей при низких температурах окружающей среды [Электронный ресурс] / У.А. Керимов // Проблемы науки. - 2017. - №2(15). - Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-ohlazhdeniya-stenok-rezervuarov-struyami-vody-na-protsess-goreniya-i-tusheniya-legkovosplamenyayuschih-zhidkostey>
10. Михайлова В.И., Моделирование систем орошения резервуаров нефтепродуктов в условиях применения модифицированных водногелевых составов / В.И. Михайлова, И.Л. Скрипник, А.В. Иванов // Проблемы управления рисками в техносфере. - 2019. - №4 (52). - С.51-60.
11. Иванов А.В., Исследование характеристик модифицированных гидрогелей для целей тепловой защиты резервуаров нефтепродуктов / А.В. Иванов, В.И. Михайлова, Г.К. Ивахнюк, Ф.В. Демехин // Пожаровзрывобезопасность. - 2017. №4(26). - С.58-67. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.58-67
12. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. 2479005 Рос. Федерация; Ивахнюк Г.К. (RU), Матюхин В.Н. (RU), Клачков В.А. (RU), Шевченко А.О. (RU), Князев А.С. (RU), Ивахнюк К.Г. (RU), Иванов А.В. (RU), Родионов В.А. (RU), Опубликовано: 10.04.2013. Бюл. № 10 Федеральной службы по интеллектуальной собственности] URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2479005>
13. Михайлова В. И., Влияние параметров модификации на теплозащитные характеристики водногелевых составов в условиях углеводородного горения / В.И. Михайлова, А.В. Иванов, В.Я. Трофимец // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России: научно-аналитический журнал. - 2017. - № 3. - С.79 - 87.
14. Федеральный закон N 116-ФЗ от 21.07.1997 "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (последняя редакция)
15. Теребнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М: Пожнннга, 2004. 248с.
16. Алексеик Е.Б., Влияние переменных электрических полей на процессы создания и стабилизации воздушно-механических пен / Е.Б. Алексеик, А.Е. Савенкова, З. Гемипш // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». - 2013. - №. 4.
17. Пинчук В.И., Организация пожаротушения резервуара с мазутом на Старобешевской тепловой электростанции по тактическому замыслу / В.И. Пинчук, В.В. Хазилова, Л.Т. Писарев, М.Б. Старостенко, А.В. Кипря // Пожарная и техноферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. - 2019. - № 3(4). - С.138-143.
18. СП 155.13130.2014 Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности (Актуализированная редакция СНиП 2.11.03-93). - М.: Феникс, - 2015. - 55 с.
19. ГОСТ 32794-2014 Композиты полимерные. Термины и определения.
20. Bujar M., Carbopol polymers as functional gelling agents / M. Bujar, A. Zirko, M. D'emin // ipheb&cphl RUSSIA. - 2017.

*Статья поступила в редакцию 16.03.2021*

*Статья принята к публикации 16.06.2021*