

УДК 614.841.343:539.097

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0024

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ

© 2022

Михайлова Валерия Игоревна, аспирант*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**(196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 149, e-mail: gidralera@rambler.ru)*

Аннотация. Анализ пожаров на объектах хранения нефтепродуктов за последнее десятилетие показывает, что наиболее опасными чрезвычайными ситуациями в резервуарных парках являются каскадные аварии, при которых пожар по средством лучистого и конвективного теплообмена переходит от горящего резервуара к соседнему и может охватить всю резервуарную группу. Данный сценарий является наихудшим вариантом развития аварии в резервуарном парке, сопровождается человеческими жертвами и огромным материальным ущербом. Для предотвращения каскадного распространения аварии необходимо осуществлять охлаждение соседних с горящим резервуаров, которое стандартно реализуется при помощи стационарных установок охлаждения, представляющих из себя кольцевой трубопровод, расположенный в верхнем поясе резервуара. На сегодняшний день основным тепловым агентом в стационарных системах охлаждения является вода. В статье изложены результаты экспериментальных исследований и моделирования систем орошения резервуаров для хранения нефтепродуктов с использованием модифицированных водногелевых составов, применяемых в качестве теплового агента. Предложены типовые проектные решения систем тепловой защиты с применением современного насосного оборудования для подачи теплового агента в систему охлаждения. Даны рекомендации по подбору насосных систем для реализации проектных решений по внедрению инновационного метода в практику применения.

Ключевые слова: гидрогели, установки охлаждения, электрофизическая модификация, тепловая защита, переменный частотно-модулированный потенциал, углеводородный пожар.

IMPLEMENTATION OF THERMAL PROTECTION SYSTEMS OF A TANK FARM FOR STORING PETROLEUM PRODUCTS BASED ON MODIFIED HYDROGEL COMPOSITIONS

© 2022

Mikhailova Valeria Igorevna, postgraduate student*Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**(196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149, e-mail: gidralera@rambler.ru)*

Abstract. An analysis of fires at oil products storage facilities over the past decade shows that the most dangerous emergencies in tank farms are cascade accidents, in which a fire, by means of radiant and convective heat transfer, passes from a burning tank to a neighboring one and can cover the entire tank group. This scenario is the worst scenario for the development of an accident in a tank farm, accompanied by human casualties and huge material damage. To prevent the cascade propagation of an accident, it is necessary to cool the tanks adjacent to the burning one, which is usually implemented using stationary cooling installations, which are an annular pipeline located in the upper belt of the tank. To date, the main heat agent in stationary cooling systems is water. The article presents the results of experimental studies and modeling of irrigation systems for storage tanks for petroleum products using modified water-gel compositions used as a heat agent. Typical design solutions for thermal protection systems with the use of modern pumping equipment for supplying a heat agent to the cooling system are proposed. Recommendations are given on the selection of pumping systems for the implementation of design solutions for the implementation of an innovative method in the practice of application.

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

Введение. По данным статистики объемы добычи нефти и производства нефтепродуктов, как в мире в целом, так и в России в частности, увеличивается с каждым годом. Приrost ежегодной добычи нефти в России составляет по данным Росстата порядка 4% [1], что в свою очередь приводит к росту числа объектов хранения нефтепродуктов и увеличению объемов резервуарных парков.

Не смотря на то, что в общей статистике чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках крупномасштабные аварии являются нечастым событием, они, как правило, сопровождаются человеческими жертвами и огромным материальным ущербом [2, 3].

За многолетнюю историю эксплуатации резервуарных парков для хранения нефтепродуктов сложились два основных сценария ликвидации пожаров на данных объектах: ликвидировать пожар путем применения воздушно-механических пен, либо дать нефтепродукту выгореть полностью. При этом, чаще всего, авария развивается каскадно, и возникает так называемый эффект «домино» [4-7], в результате которого, в пожар по средством лучистого и конвективного теплообмена вовлекаются соседние с горящим объекты.

Для предотвращения каскадного развития пожара в резервуарном парке необходимо минимизировать теплообмен между объектами резервуарного парка,

в частности, между горящим и соседними с ним резервуарами, то есть своевременно провести мероприятия по тепловой защите [8-10].

На сегодняшний день существует инновационный метод тепловой защиты [11-13], который основан на применении модифицированных водногелевых составов (ВГС) в качестве основного теплового агента в системах охлаждения.

Авторами [14, 15] обоснована возможность применения водногелевых составов для целей охлаждения резервуаров и показаны преимущества данных составов по сравнению с традиционным охлаждающим веществом – водой.

Целью авторского исследования является расчетно-техническое обоснование выбора насосных систем для подачи модифицированных водногелевых составов в систему охлаждения резервуаров в резервуарных парках для хранения нефтепродуктов.

Материалы и результаты исследования. В ходе исследования [16] на основании данных натурных экспериментов были получены оптимальные концентрации модифицированных водно-гелевых составов для целей тепловой защиты резервуаров для хранения нефтепродуктов.

В таблице 1 приведены экспериментальные данные по плотности, вязкости модифицированных водногелевых составов с различной концентрацией гелеобразователя и расчетные числа Рейнольдса, по-

лученные на основании экспериментальных данных.

Таблица 1 – Значения динамической вязкости модифицированных водногелевых составов и соответствующие им числа Рейнольдса

Концентрация РАП, масс. %	Плотность ВГС кг/м ³	Вязкость ВГС, Пуаз (Па·с) · 10 ⁻²	Число Рейнольдса
0%	1000	1,06	550,77
0,10%	1045	0,44	1205,01
0,20%	1010	13,82	38,17
0,25%	1022	106,48	4,92
0,30%	1067	169,8	3,07
0,40%	990	184,52	2,81
0,50%	1010	188,47	2,73
1,00%	998	508,63	0,99

На основании данных таблицы 1 можно утверждать, что водногелевые составы могут подаваться с помощью стандартных стальных трубопроводов, применяемых в системах охлаждения резервуаров.

Интенсивность подачи воды на охлаждение конструкций резервуаров регламентируется в [8]. Авторами ранее была определена интенсивность подачи ВГС при охлаждении резервуаров с помощью модифицированных ВГС.

Авторами [14] проводился гидравлический расчет расходно-напорных характеристик насосного оборудования, необходимого для подачи ВГС в систему охлаждения резервуаров различных типов. На основании расчетных данных определено три варианта концентрации ВГС для целей охлаждения, в зависимости от геометрических параметров резервуара.

Таблица 2 – Данные о требуемых расходах и напорах насосных станций для целей охлаждения различных типов резервуаров

Геометрические параметры резервуара			Концентрация ВГС					
Номинальный объем резервуара, м ³	Диаметр резервуара, м	Высота наружной стенки резервуара, м	0,10 масс. %		0,20 масс. %		0,25 масс. %	
			Q, м ³ /ч	H, м	Q, м ³ /ч	H, м	Q, м ³ /ч	H, м
5000 (тип 1)	22,8	12	6,06	22,06	15,14	34,59	26,45	322,40
5000 (тип 2)	20,92	15	5,56	25,05	13,89	34,71	-	-
10000 (тип 1)	28,5	18	7,57	28,12	18,92	52,68	-	-
10000 (тип 2)	34,2	12	9,08	22,21	22,71	64,75	-	-
20000 (тип 1)	39,9	18	10,60	28,34	26,50	96,00	-	-
20000 (тип 2)	47,7	12	12,67	22,58	31,67	138,37	-	-
30000	45,6	18	12,11	28,51	30,28	129,63	-	-
40000	56,9	18	15,11	28,99	-	-	-	-
50000	60,7	18	16,12	29,21	-	-	-	-

На основании данных таблицы 2 произведен подбор основных характеристик насосного оборудования для установки в систему охлаждения резервуаров нефтепродуктов при использовании модифицированных ВГС. Подбор насосов осуществлялся на основании актуальных каталогов флагманов рынка производства насосного оборудования. При прочих равных условиях, выбирался вариант наиболее оптимальный по надежности, качеству и цене.

Поскольку линия по приготовлению ВГС должна быть расположена внутри отапливаемого помещения [15], целесообразно выбирать поверхностные консольные центробежные насосы, предназначенные для перекачки воды либо нерекционноактивных жидкостей по вязкости и плотности близких к воде [17, 18].

В случае применения модифицированных ВГС, плотность которых отлична от воды [19, 11], значения давления на выходе из насоса можно найти propor-

ционально изменению плотности относительно воды. Таким образом, при подборе насосного оборудования для применения в системе охлаждения резервуаров в парках для хранения нефтепродуктов необходимо произвести подбор насоса для воды по требуемым расходно-напорным характеристикам, а затем произвести уточнение на основании данных по плотности водногелевого состава.

Подбор насосного оборудования производился по расходно-напорным кривым. Пример подобных кривых для насосного оборудования NK 40- 250 торговой марки Grundfos представлен на рисунке 1. Данный насос рекомендуется для применения с модифицированным ВГС концентрации 0,1 масс. % в системе охлаждения резервуара с высотой стенки 12 м и номинальным объемом 5000 м³.

По расходно-напорным кривым рабочий диапазон давлений данного насоса 160 – 240 кПа; при мощности

порядка 2 кВт. Зная, что ВГС с концентрацией гелеобразователя 0,1 масс.% имеет плотность 1045 кг/м³, увеличиваем требуемое давление на выходе из насоса на 4,5%. Следовательно, необходимое давление на выходе из насоса будет составлять 2,09 кВт, что попадает в рабочий диапазон выбранного насосного оборудования. Таким образом, можно утверждать, что для применения в системе охлаждения резервуара вертикаль-

ного стального с высотой стенки 12 м номинальным объемом 5000 м³ возможно применение существующего насосного оборудования, используемого для подачи воды, что исключит затраты на модернизацию системы.

Результаты, полученные при подборе насосного оборудования для охлаждения различных вертикальных стальных резервуаров, представлены в таблице 3.

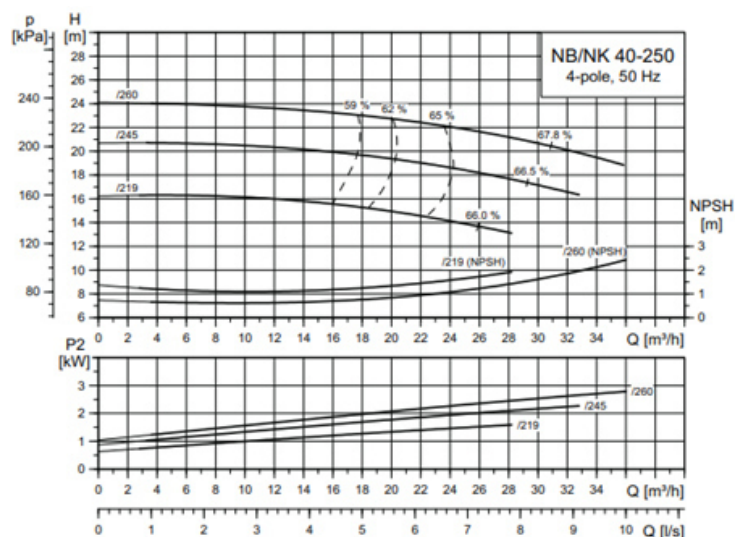


Рисунок 1 – Диаграмма рабочих характеристик на примере центробежного одноступенчатого насоса Grundfos NK 40-250

Таблица 3 – Характеристики насосного оборудования для целей охлаждения различных типов резервуаров

Номинальный объем резервуара, м ³	0,00 масс.% (вода)			0,10 масс.%			0,20 масс.%			0,25 масс.%		
Характеристики насосов	H _{ном} , м	Q _{ном} , м ³ /ч	P _{ном} , кВт	H _{ном} , м	Q _{ном} , м ³ /ч	P _{ном} , кВт	H _{ном} , м	Q _{ном} , м ³ /ч	P _{ном} , кВт	H _{ном} , м	Q _{ном} , м ³ /ч	P _{ном} , кВт
5000 (тип 1)	22,6	23,4	2,00	22,6	23,4	2,09	22,6	23,4	3,01	22,6	23,4	4,32
5000 (тип 2)	22,6	23,4	2,00	22,6	23,4	2,09	22,6	23,4	3,15	22,6	23,4	4,56
10000 (тип 1)	38,4	43,5	7,5	38,4	43,5	7,84	38,4	43,5	8,14	38,4	43,5	9,16
10000 (тип 2)	38,4	43,5	7,5	38,4	43,5	7,84	38,4	43,5	8,32	38,4	43,5	9,24

Произведенные расчеты показали, что при увеличении концентрации гелеобразователя свыше 0,25 масс. % значительно увеличивается потребляемая мощность насосного оборудования, что является существенным ограничением в применении водногелевых составов в системах охлаждения.

Установлено, что для резервуаров объемом до 10000 м³ применение ВГС не потребует модернизации системы охлаждения в части касемо насосного оборудования и может быть эффективно реализовано в существующих системах охлаждения резервуарных парков.

Заключение. Таким образом, применение модифицированных ВГС в существующих системах охлаждения позволит интенсифицировать процесс тепловой защиты в резервуарных парках без существенной технологической модернизации систем охлаждения, и, следовательно, без существенных капиталовложений на стадии внедрения нового теплового агента в практику применения.

Предложенный способ тепловой защиты, может быть рекомендован к реализации в существующих стандартных системах тепловой защиты резервуарных парков для хранения нефтепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Информация о социально-экономическом положении России [Электронный ресурс] // Росстат. – 2020. – Режим доступа: URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/6WHhWc1N/oper-12-2020.pdf>
2. Краснов А. В., Статистика чрезвычайных происшествий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 2007-2016 гг / А.В. Краснов, З.Х. Садыкова, Д.Ю. Пережогин, И.А. Мухин // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». – 2017. – №. 6. – С. 179-191.
3. Калач А. В., Методика оценки пожарной опасности горючей среды на основе веществ, обращающихся на объектах нефтегазового комплекса / А.В. Калач, А.М. Черепашин, Е.В. Калач // Техносферная безопасность. – 2019. – 4(25). – С. 58-62.
4. Gomez-Mares M., Zarate L., Casal J., Jet fire and the domino effect.//Fire safety journal. 2008. №43. P.583-588.
5. Котляревский В.А., Безопасность резервуаров и трубопроводов / В.А. Котляревский, А.А. Шаталов, Х.М. Ханухов – М.: Экономика и информатика, 2000. – 555 с.

6. Азаров Н. И., Анализ возможности каскадного развития аварий на взрывопожароопасных объектах/ Н.И. Азаров, О.В. Давидюк, Н.В. Кошовец, М.В.Лисанов // Безопасность труда в промышленности. -2007. -№5. С.42-47
7. Сучков В. П., Актуальные проблемы обеспечения устойчивости к возникновению и развитию пожара технологий хранения нефти и нефтепродуктов. - М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1995.
8. Руководство по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. М.: ГУППС, ВНИИПО МВД России, 1999. 86 с.
9. 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.
10. 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.
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. Ivanov A., Mikhailova V., Savelev D., Skrypnik I., Kaverzneva T., Use of Hydrogel Composition to Increase Efficiency of Thermal Protection of Oil Product Tanks.// International Journal of Performability Engineering. 2020. Vol. 16. №12. P. 1853-1861.
14. 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.
15. Михайлова В. И., Разработка системы тепловой защиты резервуаров с использованием гидрогелей на основании моделирования и экспериментальных данных / В.И. Михайлова, Г.К. Ивахнюк // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2021. – №. 2. – С. 15-22.
16. 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.
17. Морозова А. А., Определение критериев подбора насосного агрегата / А.А. Морозова, Р.А. Шипилов, В.И. Лукьяненко // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – №. 3. – С. 9-15.
18. Галеев А. С., Мониторинг эффективности эксплуатации насосного оборудования / А.С. Галеев, Г.И. Бикбулатова, Ю.А. Болтнева, С.Л. Сабанов. – 2019.
19. Bujar M., Carbopol polymers as functional gelling agents / M. Bujar, A. Zirko, M. D’emin // ipheb&cphl RUSSIA. - 2017.

Статья поступила в редакцию 14.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022