

УДК 622.24.062(502.17)

doi: 10.17238/issn2227-6572.2015.4.5

ГУБАЙДУЛЛИН Марсель Галиуллович

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; e-mail: m.gubaidulin@narfu.ru

ПЕТРОВА Анна Викторовна

ООО «РН-Архангельскнефтепродукт»
адрес: 163530, Архангельская область, Приморский район, пос. Талаги, д. 30; e-mail: a_petrova@rosneft-anp.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА СЕВЕРНЫХ НЕФТЕХРАНИЛИЩАХ

Разработка новых технологий обезвреживания и снижения класса опасности нефтесодержащих отходов для нефтехранилищ и нефтебаз распределительного типа, адаптированных к условиям Крайнего Севера и приравненных к ним районов, является актуальной научно-практической задачей. Для ее решения мы проанализировали источники образования и физико-химические свойства нефтесодержащих отходов при эксплуатации нефтехранилищ в северных районах; предложили безопасную технологию очистки емкостей от нефтешламов, разделения, очистки, обезвреживания и утилизации составляющих обводненных нефтесодержащих отходов с низким содержанием механических примесей. Также в статье изложена разработанная безопасная технология обращения с нефтесодержащими отходами и предложения по оборудованию мест их захоронения в условиях холодного климата. Кроме того, мы обосновали локально замкнутую технологию обращения с отходами на предприятиях нефтепродуктообеспечения, произвели оценку ее экономической эффективности. Совместное введение перманганата калия и гипохлорита натрия в определенных дозах существенно понижает концентрацию железа в объеме сточной воды, что повышает ее степень очистки. Рассмотрели возможность улучшения очистки методом отстаивания за счет одновременного охлаждения сточных вод до значений температур $+1 \dots -3$ °С. Введение в действующий цикл очистки дополнительных процессов по отстаиванию и охлаждению позволит поднять эффективность работы очистных сооружений. Понижение класса опасности отходов для захоронения их в шламонакопителях на территории предприятия можно достичь путем термоокисления нефтезагрязненных остатков. Провели апробацию предлагаемых способов в испытательной лаборатории и на производственных площадках нефте-перевалочного терминала ООО «РН-Архангельскнефтепродукт».

Ключевые слова: Крайний Север, нефтехранилища, технология очистки емкостей от нефтешламов, захоронение в шламонакопителях, понижение класса опасности отходов.

Решение проблемы обращения с нефтесодержащими отходами, образующимися в процессе деятельности предприятий нефтегазового комплекса, является достаточно сложным. Пути ее решения рассмотрены в трудах ряда исследователей [1–4 и др.]. Однако авторы обращаются к этой проблеме либо на крупных предприятиях добычи нефтегазового сырья, либо на нефтеперерабатывающих заводах, где объемы образования отходов намного выше и экономически оправдано использование мощного дорогостоящего серийно выпускаемого оборудования по разделению нефтесодержащих отходов. Другим известным способом решения проблемы является обезвреживание нефтесодержащих отходов с применением бактериальных штаммов и сред, что рассмотрено в работах [5, 6 и др.], но такие приемы действенны лишь в тех местностях, где климатически возможен цикл жизнедеятельности подобных препаратов.

В условиях Крайнего Севера климат характеризуется длительной холодной зимой и коротким, часто дождливым летом, что практически исключает применение бактериальных препаратов с целью обезвреживания нефтесодержащих отходов. С другой стороны, в силу относительно небольших объемов нефтехранилищ и перевалочных баз, здесь экономически не выгодно устанавливать специализированное стационарное оборудование по очистке нефтесодержащих отходов. Кроме того, специализированные полигоны для захоронения нефтесодержащих отходов находятся на достаточно большом удалении от мест их образования. Поэтому разработка новых технологий обезвреживания и снижения класса опасности нефтесодержащих отходов для нефтехранилищ и нефтебаз распределительного типа, адаптированных к условиям Крайнего Севера и приравненных к ним районов, является актуальной научно-практической задачей.

Для решения поставленной задачи в работе рассмотрели следующие вопросы:

1) анализ источников образования и физико-химических свойств нефтесодержащих отходов при эксплуатации нефтехранилищ в северных районах, а также существующих теоретических

и практических решений по переработке нефтесодержащих отходов;

2) разработка безопасных технологий очистки емкостей от нефтешламов, разделения (деструкции), очистки, обезвреживания и утилизации составляющих обводненных нефтесодержащих отходов с низким содержанием механических примесей;

3) разработка безопасных ресурсосберегающих технологий обращения с нефтесодержащими отходами и предложений по оборудованию мест их захоронения в условиях холодного климата;

4) обоснование локально замкнутой технологии обращения с отходами на предприятиях нефтепродуктообеспечения, оценка ее экономической эффективности.

Материалы и методы. В качестве примера рассмотрели Архангельский терминал – нефтеперевалочный комплекс I категории с емкостью резервуарного парка более 100 тыс. м³, самостоятельной железнодорожной веткой и сетью сливо-наливных эстакад. На территории терминала размещены очистные сооружения (ОС) промливневой канализации, которые предназначены для очистки сточных вод, поступающих с железнодорожных эстакад, территории резервуарных парков и других технологических площадок, выпуск очищенных сточных вод осуществляется в водный объект – р. Войжановку. Допустимые концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах регламентируются разрешительной документацией.

Осредненное количество сточных вод, поступающих на ОС, составляет 1080 м³/сут, в т. ч.: нефтепродуктов – 0,130 т/сут; взвешенных веществ – 0,081 т/сут; химическое потребление кислорода (ХПК) – 1,594 т/сут. Очищенные сточные воды должны иметь следующие показатели: содержание нефтепродуктов в пробах, отобранных на выходе, – не более 0,05 мг/л; взвешенных веществ – 0,5...1,0 мг/л; синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) порядка 0,1 мг/л; биологическое потребление кислорода (БПК) полное – до 3,0 мг/л; ХПК – до 30 мг/л; рН – 7,0...8,0. Это достигается путем использования для их обезвреживания дорогостоящих активированного

угля, химреагентов и биопрепаратов. Очищенные воды с ОС терминала сбрасываются в водный объект категории I.

Содержание нефтепродуктов в сбрасываемых водах не должно превышать 0,05 мг/л. При отклонении от установленных норм стоки приходится направлять повторно в систему очистки, что обуславливает дополнительные экономические затраты. Фактически наблюдается повышение концентрации железа до 7 мг/л, что затрудняет процесс очистки и засоряет угольную загрузку фильтров.

Исследования выполняли по двум направлениям с целью снизить негативное влияние на процесс очистки сточных вод соединений железа и улучшить расслоение фаз с более эффективным выходом нефтепродуктовой фракции еще до входа в ОС в парке буферных резервуаров.

Исследования по очистке нефтесодержащих сточных вод проводили в лаборатории Архангельского терминала на основе запатентованных нами решений по разделению, обезвреживанию загрязненных обводненных промышленных отходов в ходе их охлаждения естественным или искусственным источниками холода. Исследования имели пятикратную повторяемость на двух составах искусственно созданных нефтесодержащих эмульсий, а также на пробах сточных вод, отобранных на входе и выходе с ОС.

Исследования охлаждения нефтесодержащей эмульсии естественным или искусственным источниками холода выполняли также в лабораторных условиях. Пробы отбирали на входе блока ОС терминала. Изначально объем пробы составлял 3 л, затем пробу делили на 3 части, которые выдерживали при 3 различных температурных режимах и нейтральной реакции среды ($\text{pH} = 6 \dots 7$) в течение 1 ч. Длительность эксперимента составила 12 дней: с 1 по 12 октября ежедневно. Измерение содержания нефтепродуктов выполняли на анализаторе нефтепродуктов АН-2 с применением ИК-фотометрии. При исследованиях соблюдали рекомендации, приведенные в РД 52.24.476–2007, ГОСТ 2477–65 и ЕН ИСО 12937:2000.

На территории Архангельского терминала разрешены к использованию 3 шламонакопите-

ля из 6 карт, 4 из них функционируют с момента основания нефтебазы, т. е. с 1978 года, и в настоящий момент не эксплуатируются, 2 вновь построены при реконструкции ОС в 2008 году. Нефтешламы относятся к отходам III класса опасности. Общая площадь шламонакопителей – 0,682 га.

Результаты лабораторных исследований показали наличие в разрезе 3 слоев, имеющих между собой границы раздела фаз. Краткая их характеристика сводится к следующему [7, 8]:

1) верхний слой нефтешлама (высота – 10...15 см) представляет собой обводненную смесь смол, асфальтенов и парафинов;

2) средний слой (высота – 90...100 см) содержит в себе значительное количество загрязняющих веществ хозяйственно-бытового происхождения;

3) нижний (придонный) слой прудов с нефтешламом (высота – 70...80 см) имеет консистенцию глины и состоит из твердых механических остатков (ржавчина, ветошь, песок), органических остатков и воды (в связанном состоянии).

Высота отметки поверхности нефтешламов в прудах увеличивается по мере выпадения осадков, таяния снегов. С целью предотвращения перелива нефтепродукта и загрязненных вод через бортики шламонакопителя, за высотой среднего слоя установлен постоянный контроль. В случае необходимости загрязненные воды среднего слоя откачиваются в промливневую канализацию терминала с последующим разбавлением и частичной аэрацией стока. Затем сточные воды подаются на очистку в блок ОС. Состав верхнего и нижнего слоев шламонакопителей при этом не изменяется.

Верхний слой шламонакопителей может быть снят при помощи скребковых плавающих механизмов (скиммеров) и направлен в разделочные резервуары блока ОС, в которых при взаимодействии с водой и подогреве выделяется смесь отработанных нефтепродуктов. Она впоследствии используется в качестве топлива для котельной.

Результаты и обсуждение. Для удаления активных форм железа из сточных вод предлагаем

применять реагенты-окислители в виде перманганата калия и гипохлорита натрия до входа на флотаторы ОС. После протекания реакций окисления в модели буферного резервуара концентрация общего железа составляет 0,8...1,0 мг/л. После осаждения шлам из резервуара удаляется в шламонакопитель в период зачистки [9].

Сточная вода с повышенным содержанием железа характеризуется наличием двухвалентного железа, которое в присутствии кислорода воздуха на флотаторах окисляется в трехвалентное железо в составе гидроксида железа или оксида железа, выпадающего в виде бурых хлопьев.

Гидратированные молекулы оксида трехвалентного железа в воде без подогрева обладают способностью присоединять к себе растворенные нефтепродукты и образовывать сложные комплексы, по свойствам схожие с клеем. Такого рода масса при попадании на последнюю ступень очистки – мелкодисперсные сорбционные фильтры – «склеивает» между собой частицы активированного угля, тем самым выводя уголь из рабочего состояния. В результате концентрация нефтепродуктов на выходе из ОС после угольной фракции составляет 1,68 мг/л. Поэтому для достижения нормативного качества стоков с содержанием углеводородов не более 0,05 мг/л необходимо производить повторную очистку воды, что приводит к дополнительным расходам электроэнергии, химических реагентов и к частой замене дорогостоящих угольных фильтров.

В результате проведения ряда экспериментов по удалению активных форм железа из сточных вод с введением перманганата калия и гипохлорита натрия до входа на флотаторы ОС мы получили данные по расходу реагентов и возможности применения метода на ОС терминала. Средняя концентрация общего железа (равная концентрации двухвалентного железа) в пробах воды составила 5,0 мг/л. Расчет потребности в химических реагентах на окисление принятой концентрации (перманганат калия и гипохлорит натрия) произвели по уравнениям химических реакций. При совместном введении перманганата калия и гипохлорита натрия определили дозы этих реагентов.

Для приготовления рабочего раствора, исходя из данных по растворимости перманганата калия в воде, на 5 кг реактива требуется 79 л воды. После протекания реакций окисления в модели буферного резервуара концентрация общего железа составляет 0,8–1,0 мг/л. При поэтапном рассмотрении составляющих на входе в ОС выявили ингибирующее действие пленки нефтепродуктов над стоком на процесс окисления. Таким образом, введение реагентов на канализационно-насосной станции терминала не будет эффективным.

Точка введения должна находиться на максимальной приближенности к буферным резервуарам, и в ней должны происходить смешение и разбавление промышленных вод, при которых пленка нефтепродуктов механически разбивается. Такой точкой является канализационный сборный колодец перед входом в парк буферных резервуаров.

Для того чтобы расслоение фаз «загрязненная вода/нефтепродукт» в буферном резервуаре проходило эффективнее, предлагаем производить охлаждение нефтесодержащей эмульсии естественным или искусственным источниками холода. Результаты определения концентраций нефтепродуктов в сточных водах в точке входа на блок ОС терминала для различных температурных режимов эксперимента приведены в *табл. 1*.

Из данных проведенных исследований видно, что при понижении температурного режима разделение фаз происходит эффективнее, и наблюдается значительное снижение концентрации нефтепродукта. Процесс может быть использован для улучшения подготовки стоков в буферных резервуарах, более качественного и быстрого выделения смеси отработанных нефтепродуктов.

После прохождения сточными водами очистки возможно их применение в замкнутом цикле обращения технической воды при условии реконструкции системы трубопроводов, что значительно уменьшит нагрузку на катионитные фильтры водоподготовки и обеспечит бесперебойную работу котельной [10]. Пробы отбирались с 5-кратным повторением, результа-

Таблица 1

**СОДЕРЖАНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ВОДЕ НА ВХОДЕ В ОС
АРХАНГЕЛЬСКОГО НЕФТЕПЕРЕВАЛОЧНОГО ТЕРМИНАЛА, мг/дм³**

Температурный диапазон бработки сточных вод, °С	Дата обработки											
	1.10	2.10	3.10	4.10	5.10	6.10	7.10	8.10	9.10	10.10	11.10	12.10
+21...+23	3,7	3,4	7,2	4,2	3,2	4,1	4,6	6,2	4,2	4,4	4,3	3,4
+1...-3	4,1	3,2	5,6	2,1	1,5	3,1	4,5	4,2	2,5	3,2	3,2	3,2
-19...-21	3,8	2,4	2,5	1,8	0,3	3,9	3,2	3,6	1,9	2,2	3,0	2,4

Примечание. Определение концентрации нефтепродуктов в сточных водах проводилось в разовых пробах в параллельных определениях. Относительное расхождение между двумя результатами параллельных определений (предел повторяемости, %) \leq установленного значения предела повторяемости при вероятности $P = 0,95$.

ты усреднялись. Химический состав исходной воды и воды из резервуара чистой воды блока ОС и среднеквадратические отклонения (СКО) определений приведены в *табл. 2*.

При сравнении между собой показателей технической и очищенной воды можно сделать

вывод о том, что очищенная вода имеет преимущественно меньшие концентрации загрязняющих веществ. Особое внимание следует обратить на показатель жесткости воды, который важен для работы котлов цеха паротеплонабжения. Для обеспечения его соответствия

Таблица 2

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ р. КУЗНЕЧИХИ
И ОЧИЩЕННОЙ СТОЧНОЙ ВОДЫ ПОСЛЕ БЛОКА ОС
АРХАНГЕЛЬСКОГО НЕФТЕПЕРЕВАЛОЧНОГО ТЕРМИНАЛА, мг/дм³**

№	Компонент	Техническая вода		Очищенная сточная вода	
		Состав	СКО, %	Состав	СКО, %
1	Нефтепродукты, мг/дм ³	0,01	1,2	0,02	1,1
2	Азот аммонийный (NH ₄ ⁺), мг/дм ³	0,09	1,8	0,07	1,7
3	Железо общее (Fe), мг/дм ³	3,89	1,5	0,64	1,5
4	Свинец (Pb), мг/дм ³	0,02	1,8	0,02	1,8
5	Фосфаты, в пересчете на оксид фосфора, мг/дм ³	0,13	1,2	0,009	1,3
6	Хлориды (Cl ⁻), мг/дм ³	17	1,6	322	1,5
7	Сульфаты (SO ₄ ²⁻), мг/дм ³	217	1,8	84	1,7
8	Сухой остаток, мг/дм ³	300	1,1	104	1,2
9	Взвешенные вещества, мг/дм ³	52	1,9	48	1,7
10	Растворенный кислород, мг/дм ³	8	2,0	8	1,9
11	ХПК, мг/дм ³	37	2,0	39	1,9
12	Жесткость общая, мг-экв/л	3,9	0,9	1	1,0

Примечание. Относительное расхождение между двумя результатами параллельных определений (предел повторяемости, %) \leq установленного значения предела повторяемости при вероятности $P = 0,95$.

требованиям необходима специальная водоподготовка. У очищенной воды этот показатель в несколько раз лучше, чем у воды, взятой из реки. Концентрация хлоридов в очищенной воде выше, чем в технической. Это связано с постоянной регенерацией хлоридом натрия натрий-катионитовых фильтров с последующим сбросом отработанной воды в систему ОС. Но, поскольку содержание хлоридов и остальных компонентов состава воды нормативно не регламентировано, превышение допустимо. Также очищенная вода имеет более высокие содержание нефтепродуктов ($0,02 \text{ мг/дм}^3$ против $0,01 \text{ мг/дм}^3$ у технической воды) и ХПК (39 мг/дм^3 против 37 мг/дм^3 соответственно). Однако данная разница незначительна, находится в пределах точности методик измерений и не окажет влияния на работу как химводоочистки, так и цеха паротеплоснабжения в целом.

По результатам исследований по обезвреживанию и утилизации (повторному использованию) нефтешламов и нефтезагрязненных грунтов мы разработали и запатентовали способ обращения с нефтесодержащими материалами. Применение этого способа утилизации нефтешламов, нефтезагрязненных грунтов основано на термоокислении (полимеризации) тяжелых углеводородов в тонких пленках, образуемых при перемешивании их с минеральными частицами.

После механического вскрытия в карте шламонакопителя твердая фаза отходов дополнительно обезвреживается в емкости за счет аэрации горячим воздухом (подача горячего воздуха в перфорированные трубы). После чего экскаватором нужно собрать шлам в одну часть емкости, вторая часть высвобождается под термоокисленный грунт.

Процесс термоокисления нижнего слоя шламонакопителя возможно осуществить на установке для механического перемешивания компонентов (бетоносмеситель). Для уплотнения укладываемого в накопитель слоя обезвреженных нефтешламов необходимо применение передвижного площадочного вибратора.

Часть шлама загружается в барабан установки для перемешивания, где в ходе термиче-

ской обработки происходит нагрев перемешиваемого шлама до температуры $50...70 \text{ }^\circ\text{C}$. Для поддержания требуемой консистенции итогового продукта возможно добавление в барабан установки вяжущего агента, роль которого может исполнять снятый верхний слой шламонакопителя. При термообработке смесь обезвреживается, переходя в более низкий класс опасности. Затем горячая смесь сливается обратно в шламонакопитель, застывает и образует оболочку – твердое покрытие. Уплотнение слоев производится площадочным вибратором. При последовательном повторе таких циклов шламонакопитель «утилизует сам себя»; 1 ванна шламонакопителя будет полигоном захоронения, 3 другие после зачистки будут выполнять функции прудов дополнительного отстоя или пожарных водоемов – в них будет находиться условно чистая вода.

Актуальным представляется рассмотрение вопросов, связанных с разработкой новых безопасных способов и рекомендаций по очистке емкостей от нефтешламов и обезвреживанию нефтесодержащих отходов.

Мы запатентовали способ, предусматривающий использование специализированного устройства для очистки емкостей от нефтешлама с учетом обеспечения безопасности проведения работ [11]. Зачистное устройство включает шнековый транспортер (конвейер), имеющий в верхней части гибкий шланг для удаления из емкости загрязненных веществ, а в нижней части – шарнирно закрепленную секцию с конусным диффузором. Устройство дополнительно оснащено вакуумным насосом и механизмом для пространственного перемещения зачистного устройства в емкости. Следует отметить, что шнековый транспортер оборудован шлангом для подачи в зону контакта его с нефтешламом нагретого нефтепродукта, а основная часть транспортера выполнена из трубных и шнековых сборно-разборных секций. Причем шнековая секция, размещенная в конусном диффузоре, и сам диффузор оснащены соответственно режущими элементами и эластичным кольцевым уплотнителем.

Способ очистки емкости от нефтешлама предполагает использование устройства, показанного на *рис. 1, 2*: на *рис. 1* приведен вертикальный разрез резервуара, оснащенного охлаждающим устройством, а на *рис. 2* – разрез резервуара с устройством зачистки емкости от нефтешлама.

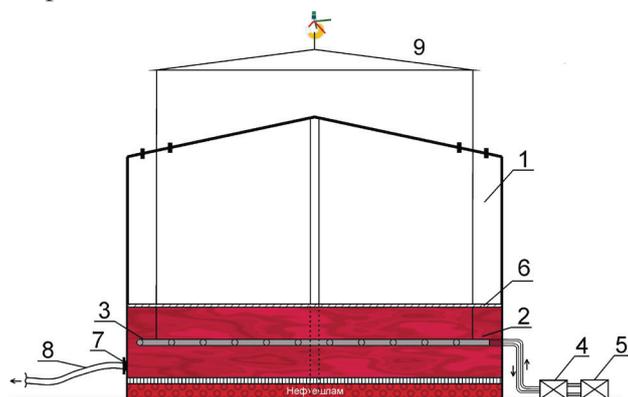


Рис. 1. Вертикальный разрез резервуара

До начала проведения основного этапа очистки емкости 1 (*рис. 1*) от загрязнителей из нее откачивают товарную продукцию. Затем в толще загрязненной воды 2 размещают охлажда-

ющее устройство, включающее систему труб 3 для прокачки по ним рабочего агента из рассольной емкости 4, подключенной к холодильному компрессору 5. При охлаждении происходит повышение плотности воды до 1 г/см^3 и выделение из нее нефтепродуктов 6 и рассолов 7, имеющих плотности менее и более 1 г/см^3 соответственно. Очищенную воду откачивают по шлангу 8 из емкости 1 и утилизируют, а систему труб механизм 9 удаляют из емкости 1.

Технология очистки стенок и дна емкости 10 от нефтешлама 11 предусматривает размещение в ней зачистного устройства (*рис. 2*). Оно включает шнековый транспортер 12, имеющий в верхней части гибкий шланг 13 для удаления из емкости 10 нефтешлама (загрязненных веществ), а в нижней части – шарнирно закрепленную секцию с конусным диффузором 14. Зачистное устройство дополнительно оснащено вакуумным насосом 15, механизмом 16 для пространственного перемещения устройства и связями 17 для фиксации шнекового транспортера к опорной стойке 18 и очищаемой поверхности емкости 10. Следует отметить, что шнековый транспортер выполнен из трубных и шнековых сборно-разборных секций, оснащен шлангом 19 для подачи непосредственно в зону

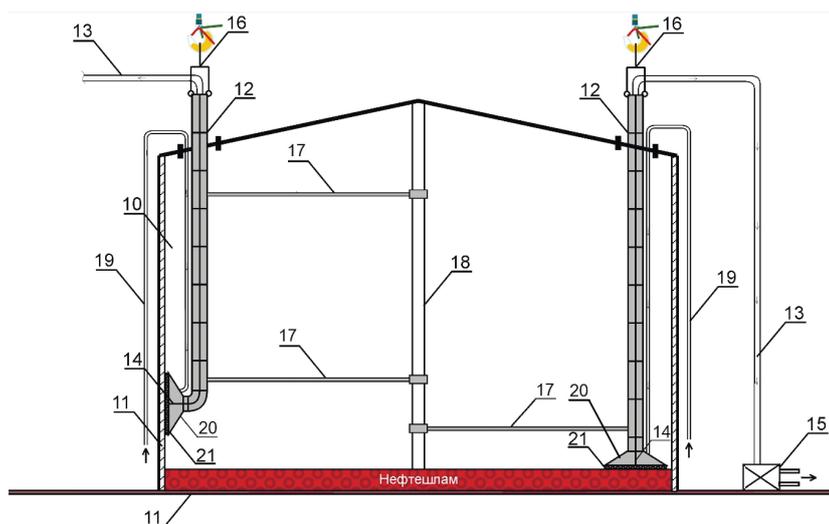


Рис. 2. Разрез резервуара с устройством для зачистки емкости от нефтешлама

контакта конусного диффузора с нефтешламом нефтепродукта, нагретого на $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже температуры вспышки. При этом шнековая секция, размещенная в конусном диффузоре, оснащена режущими элементами 20, а диффузор – эластичным кольцевым уплотнителем 21. Для удаления из емкости 10 нефтешлама в зону контакта его с конусным диффузором по шлангу подают нагретый до температуры вспышки нефтепродукт и за счет использования режущих элементов, шнекового транспортера, вакуумного насоса очищают стенки и днище емкости 10 от нефтешлама. Затем производят удаление защитного устройства и нефтешлама из емкости 10, обезвреживание и отверждение нефтешлама в ходе его термической обработки и полимеризации.

Устройство для очистки емкостей от нефтешламов применимо для нефтехранилищ распределительного типа с большим оборотом товарной продукции. Особенно актуально использование данного устройства в условиях нефтехранилищ на территориях Крайнего Севера и приравненных к ним вследствие наличия соответствующего заданному температурного режима.

Мы запатентовали способ захоронения промышленных отходов [12], при использовании которого на осваиваемом участке производят отрывку котлована, планировку дна и откосов выемки (рис. 3), а потом обезвреживание и пере-

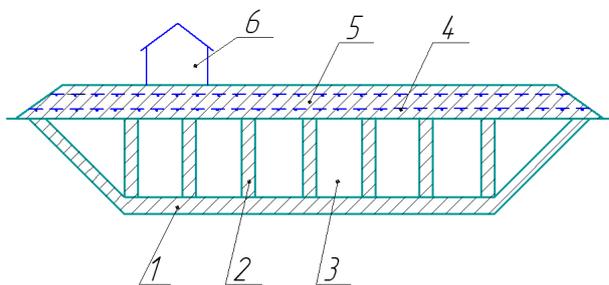


Рис. 3. Способ захоронения промышленных отходов в котловане

мешивание отходов с «тяжелой» нефтью, нагрев и термоокисление смеси с использованием, например, серийно выпускаемой асфальтобетонной установки, укладку слоя смеси на дно и откосы котлована, создание в процессе ее полимеризации упрочненного гидроизоляционного экрана 1. Затем на горизонтальной поверхности экрана 1 устанавливают щиты многооборотной опалубки, заполняют их термоокисленной смесью грунта с нефтью и на всю глубину котлована дополнительно создают перпендикулярные друг к другу вертикальные упрочненные экраны 2 и, соответственно, автономные емкости. Емкости заполняют обводненным промышленным отходом 3, после чего с использованием термоокисленной смеси грунта с нефтью над котлованом возводят опирающиеся на него откосы и экраны, упрочненные арматурными сетками 4 защитное покрытие 5, а на его поверхности – различные по назначению сооружения 6.

Применение при захоронении на полигонах промышленных отходов данного способа позволит при оптимальных затратах обеспечить безопасность и рациональное использование ресурсов.

Апробация предлагаемых способов была осуществлена в испытательной лаборатории и на производственных площадках нефтеперевалочного терминала ООО «РН-Архангельск-нефтепродукт». Результаты исследований подтвердили безопасность проведения работ и возможность обезвреживания обводненных нефтесодержащих отходов, содержащих в составе от $0,1 \cdot 10^{-3}$ до 10 г/л жидких углеводородов.

Выводы:

1. На основе анализа состояния обеспечения безопасности при складировании и утилизации отходов предприятий нефтяной отрасли и существующих методов и средств решения проблемы отходов разработали новые высокоэффективные и безопасные методы переработки нефтесодержащих отходов, адаптированные к условиям Крайнего Севера.

2. Установили, что совместное введение перманганата калия и гипохлорита натрия

в определенных дозах существенно понижает концентрацию железа в объеме сточной воды и способствует образованию нерастворимого хлопьевидного осадка. Оптимальной точкой для внесения реагентов является точка слияния всех стоков в одну трубу на максимальной приближенности к группе буферных резервуаров. Совместный ввод в обрабатываемую воду перманганата калия и гипохлорита натрия позволяет сэкономить до 80 % перманганата калия. Данный метод даст возможность в кратчайшие сроки устранить высокую концентрацию железа в стоках, не прибегая при этом к значительным финансовым затратам.

3. Доказали возможность повышения степени очистки сточных вод от загрязнений нефтепродуктами методом отстаивания за счет одновременного их охлаждения до значений температур $+1 \dots -3$ °С. Введение в действующий цикл очистки дополнительных процессов по отстаиванию и охлаждению позволит поднять эффективность работы ОС.

4. Предложили применять на производственных объектах замкнутый цикл движения технической воды с целью снижения сброса в водный объект (практически вся очищенная сточная вода поступает на нужды нефтебазы) и нагрузки на натрий-катионитовые фильтры цеха паротеплоснабжения. Установили, что применение способа термоокисления нефтеса-

грязненных остатков в шламовых накопителях позволит снизить класс опасности отходов, а также обеспечить их захоронение на территории предприятия.

5. Провели апробацию предлагаемых способов в испытательной лаборатории и на производственных площадках нефтеперевалочного терминала ООО «РН-Архангельскнефтепродукт», которая подтвердила возможность обезвреживания обводненных нефтесодержащих отходов, содержащих от $0,1 \cdot 10^{-3}$ до 10 г/л жидких углеводородов. Разработали устройство для очистки емкостей от нефтешламов в нефтехранилищах распределительного типа с большим оборотом товарной продукции. Показали актуальность применения данного устройства в условиях нефтехранилищ на территориях Крайнего Севера и приравненных к ним вследствие наличия соответствующего температурного режима. Применение разработанных способов на объектах нефтегазового комплекса позволит снизить затраты, повысить эффективность обезвреживания, утилизации отходов с различными концентрациями нефтесодержащих веществ.

7. Разработанные мероприятия рекомендуется внедрять на объектах нефтегазового комплекса, имеющих сравнительно небольшие производственные обороты, в частности на нефтебазах распределительного типа в условиях Севера России.

Список литературы

1. Гумеров А.Г., Азметов Х.А., Гумеров Р.С., Векштейн М.Г. Аварийно-восстановительный ремонт магистральных нефтепроводов. М., 1998. 268 с.
2. Десяткин А.А. Разработка технологии утилизации нефтяных шламов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2004. 24 с.
3. Пономарев В.Г., Иоакимис Э.Г. Образование и очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. М., 2009. 346 с.
4. Фердман В.М. Комплексная технология утилизации промышленных нефтешламов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2002. 24 с.
5. Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. М., 1983. 263 с.
6. Яковлев С.В., Скирдов И.В., Швецов В.Н., Бондарев А.А., Андрианов Ю.Н. Биологическая очистка производственных сточных вод. Процессы, аппараты и сооружения. М., 1985. 208 с.

7. Петрова А.В. Совершенствование очистки нефтесодержащих сточных вод // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2013. № 1. С. 14–19.

8. Петрова А.В., Губайдуллин М.Г. Обоснование возможностей применения сточных вод для технических целей на Архангельской нефтебазе // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 4. С. 35–39.

9. Петрова А.В., Плосков Д.Ю. Определение и анализ физико-химического состава нефтешламов в прудах-отстойниках на Архангельском нефтяном терминале // Наука – Северному региону: сб. материалов науч.-техн. конф. проф.-преподав. состава, науч., инж.-техн. работников и аспирантов по итогам работ за 2010 год. Архангельск, 2011. С. 411–415.

10. Петрова А.В. Обоснование метода утилизации нефтесодержащих отходов на примере шламонакопителей Архангельского терминала // Исследование и освоение углеводородных ресурсов прибрежных регионов: материалы Междунар. рос.-норвеж. конф. 17–20 июня 2013 года / отв. ред. В.И. Павленко. Архангельск, 2013. С. 95–99.

11. Пат. 2533724 Российская Федерация. Способ и устройство для очистки емкостей от нефтешлама / Конохов А.В., Конохов А.Д., Петрова А.В., Пустова Е.Ю., Черкасов Н.Р. – № 2013111085/05; заявл. 12.03.2013; опубл. 20.11.2014, Бюл. № 32. 6 с.

12. Пат. 2539141 Российская Федерация. Способ захоронения промышленных отходов / Губайдуллин М.Г., Конохов А.В., Петрова А.В., Конохов А.Д., Черкасов Н.Р. – № 2013138033/13; заявл. 13.08.2013; опубл. 10.01.2015. Бюл. № 1. 4 с.

References

1. Gumerov A.G., Azmetov Kh.A., Gumerov R.S., Vekshteyn M.G. *Avariyno-vosstanovitel'nyy remont magistral'nykh nefteprovodov* [Emergency and Restoring Repair of the Oil Trunk Pipelines]. Moscow, 1998. 268 p.

2. Desyatkin A.A. *Razrabotka tekhnologii utilizatsii neftyanykh shlamov*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Development of Technology for Oil Sludge Disposal: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Ufa, 2004. 24 p.

3. Ponomarev V.G., Ioakimis E.G. *Obrazovanie i ochistka stochnykh vod neftepererabatyvayushchikh zavodov* [Formation of Refinery Water and Clarification of the Oil Refineries]. Moscow, 2009. 346 p.

4. Ferdman V.M. *Kompleksnaya tekhnologiya utilizatsii promyslovykh nefteshlamov*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Complex Technology for Commercial Oil Sludge Disposal: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Ufa, 2002. 24 p.

5. Stakhov E.A. *Ochistka neftesoderzhashchikh stochnykh vod predpriyatiy khraneniya i transporta nefteproduktov* [Clarification of Oily Refinery Water by the Enterprises of Oil Storage and Transport]. Moscow, 1983. 263 p.

6. Yakovlev S.V., Skirdov I.V., Shvetsov V.N., Bondarev A.A., Andrianov Yu.N. *Biologicheskaya ochistka proizvodstvennykh stochnykh vod. Protsessy, apparaty i sooruzheniya* [Biological Treatment of Industrial Wastewater. Processes, Machines and Facilities]. Moscow, 1985. 208 p.

7. Petrova A.V. Sovershenstvovanie ochistki neftesoderzhashchikh stochnykh vod [Improving of Clarification of Oily Refinery Water]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*, 2013, no. 1, pp. 14–19.

8. Petrova A.V., Gubaydullin M.G. Obosnovanie vozmozhnostey primeneniya stochnykh vod dlya tekhnicheskikh tseley na Arkhangel'skoy neftebaze [Justification of Application of Wastewater for the Industrial Purposes in the Arkhangelsk Oil Terminal]. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*, 2014, no. 4, pp. 35–39.

9. Petrova A.V., Ploskov D.Yu. Opredelenie i analiz fiziko-khimicheskogo sostava nefteshlamov v prudakh-otstoynikakh na Arkhangel'skom neftyanom terminale [Identification and Analysis of Physical and Chemical Composition of the Sludge in the Settling Ponds in the Arkhangelsk Oil Terminal]. *Nauka – Severnomu regionu: sb. materialov nauch.-tekhn. konf. prof.-prepodav. sostava, nauch., inzh.-tekhn. rabotnikov i aspirantov po itogam rabot za 2010 god* [Science to the Northern Region: Proc. Sci. and Tech. Conf. Faculty, Sci., Eng. and Tech. Staff and Postgraduate Students, Regarding the Results of 2010]. Arkhangelsk, 2011, pp. 411–415.

10. Petrova A.V. Obosnovanie metoda utilizatsii neftesoderzhashchikh otkhodov na primere shlamonakopiteley Arkhangel'skogo terminala [Justification of the Method of Disposal of Oily Waste at the Example of Tailings Ponds of the Arkhangelsk Oil Terminal]. *Issledovanie i osvoenie uglevodorodnykh resursov pribrezhnykh regionov: materialy Mezhdunar. ros.-norvezh. konf. 17–20 iyunya 2013* [Research and Development of Hydrocarbon Resources in the Coastal Regions: Proc. Intern. Russian-Norway. Conf. 17–20 June 2013]. Ed. by V.I. Pavlenko. Arkhangelsk, 2013, pp. 95–99.

11. Konyukhov A.V., Konyukhov A.D., Petrova A.V., Pustova E.Yu., Cherkasov N.R. *Sposob i ustroystvo dlya ochildki emkostey ot nefteshlama* [Method and Apparatus for Tanks Cleaning out of Sludge]. Patent RF, no. 2533724, 2013.

12. Gubaydullin M.G., Konyukhov A.V., Petrova A.V., Konyukhov A.D., Cherkasov N.R. *Sposob zakhoroneniya promyshlennykh otkhodov* [Method of Disposal of Industrial Waste]. Patent RF, no. 2539141, 2013.

doi: 10.17238/issn2227-6572.2015.4.5

Gubaydullin Marsel' Galiullovich

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;
e-mail: m.gubaidulin@narfu.ru

Petrova Anna Viktorovna

RN-Arkhangelsknefteprodukt LLC
Talagi settl., 30, Primorsky district, Arkhangelsk region, 163530, Russian Federation;
e-mail: a_petrova@rosneft-anp.ru

SAFETY OF OILY WASTE PROCESSING IN THE OIL TERMINALS IN THE NORTHERN REGIONS

Development of new technologies of treatment and reduction of class of hazardous waste for oil storage and oil terminals of distribution type, adapted to the conditions of the Far North and equivalent areas, is an actual scientific and practical task. We analyzed the sources of formation and physical and chemical properties of oily waste in the operation of oil storages in the northern areas; proposed the safe cleaning technology of tanks out of sludge, as well as separation, cleaning, neutralization and utilization of watered oily waste with low content of mechanical impurity. The paper presents the developed safety technology of oily waste treatment and suggestions of their disposal in the conditions of a frigid climate. A locally closed technology of waste treatment at the enterprises of oil products supply is proved and an assessment of its economical efficiency is undertaken. Coadministration of potassium permanganate and sodium hypochlorite at defined doses significantly reduces the concentration of iron in the bulk of the wastewater, which increases its degree of clarification. The ways of improving the clarification by sedimentation due to the simultaneous cooling of wastewater to the temperatures of +1...-3 °C were examined. The introduction of the additional cold settling processes into the cleaning cycle will raise the efficiency of treating facilities. The reduction of class of hazardous waste for their disposal in the sludge tanks on the premises can be achieved by thermal oxidation of oil-contaminated residues. The proposed methods were tested in the test laboratory and production sites of the terminal of RN-Arkhangelsknefteprodukt LLC.

Keywords: *Far North, oil storage, safe cleaning technology of tanks out of sludge, disposal in the sludge tanks, reduction of class of hazardous waste.*