

ля на 0,24 %, тяжелого газойля на 0,04 %. В таблице 3 представлена сравнительная таблица балансов по базовому режиму и выходу и продуктов, так и с вовлечением ДОНР.

На основании проведенных исследований предложена схема вовлечения нефтешлама (ДОНР) на установку замедленного коксования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ж. Н. Артемьева, С. Г. Дьячкова, И. Е. Кузора, М. А. Лонин, Оценка возможности использования ловушечного нефтепродукта как компонента для приготовления средних и тяжелых дистиллятов. // Нефтепереработка и нефтехимия, 2019, № 5, с. 3-9.
2. И.Е. Кузора, С.Г. Дьячкова, Е.В. Симонова, Д.А. Дубровский, В.Д. Черепанов, Е.В. Прудникова, Рациональное использование ловушечного нефтепродукта. // Нефтепереработка и нефтехимия, 2019, № 10, с. 45-51.
3. И.Е. Кузора, Е.В. Симонова, О.Ю. Мозилина, Нефтешламы – классификация по источникам образования и физико-химическим свойствам, перспективные методы переработки. // Нефтепереработка и нефтехимия, 2020, № 6, с. 32-37.
4. Хурамшина Л.В. Нефтешламы: образование, безопасная переработка, использование. – У.: Монография, 2006. – 256 с.
5. Голубев, Е. В. Переработка нефтесодержащих отходов в едином производственном цикле// Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 10. – С. 112-115.

УДК 665.6

*Кузора Игорь Евгеньевич,*

*к.т.н., доцент кафедры «Химическая технология топлива»  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: xtt-agta@yandex.ru*

*Симонова Елена Валерьевна,*

*соискатель кафедры «Химическая технология топлива»  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: simonovaev2023@mail.ru*

### ОБЕЗВОЖИВАНИЕ НЕФТЕШЛАМОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ВОВЛЕЧЕНИЕМ В СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Kuzora I.E., Simonova E.V.*

### DEWATERING OF OIL SLUDGE FROM TREATMENT FACILITIES WITH SUBSEQUENT INVOLVATION INTO CONSTRUCTION MATERIALS

**Аннотация.** Изучены физико-химические характеристики нефтешламов, образующихся при очистке промышленных сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий. Исследованы варианты обезвоживания нефтешламов с последующим вовлечением в строительные материалы.

**Ключевые слова:** нефтешлам, очистные сооружения, промышленные стоки, центрифуги, экстрактивная перегонка, бензин, сушка, дорожный битум.

**Abstract.** The physicochemical characteristics of oil sludge generated during the purification of industrial wastewater from oil refineries have been studied. Options for dehydration of oil sludge with subsequent inclusion in construction materials have been studied.

**Keywords:** oil sludge, treatment facilities, industrial wastewater, centrifuges, extractive distillation, gasoline, drying, road bitumen.

Главным объектом исследования являлись нефтешламы нефтеперерабатывающего предприятия: донные отложения сырьевых нефтяных резервуаров; нефтешламы очистных сооружений, образующиеся при очистке промышленных стоков различного происхо-

ждения.

Инвентаризация источников образования нефтешламов и нефтесодержащих отходов типового нефтеперерабатывающего предприятия показала целесообразность разделения их на три группы:

1. Возобновляемые – постоянно образующиеся в результате: эксплуатации и последующей зачистки трубопроводов, резервуаров, технологического оборудования; выполнения специфических технологических операций на некоторых производствах (например, при переработке тяжелых нефтяных остатков на установке замедленного коксования); ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.
2. Невозобновляемые – накопленные в ходе деятельности предприятия.
3. Нефтешламы очистных сооружений – образуются при очистке физико-химическими методами промышленных стоков различного происхождения.

В таблице 1 представлен состав нефтешламов, отобранных на территории типового нефтеперерабатывающего предприятия. Из данной таблицы видно, что наиболее нестабильными по составу являются нефтешламы очистных сооружений.

Таблица 1 – Состав нефтешламов

Образец	Содержание, % масс.		
	вода	мех. примеси	углеводороды
Невозобновляемые нефтешламы (из шламонакопителей)	10-30	30-50	10-25
Нефтешлам очистных сооружений	25-80	10-30	20-58
Возобновляемые нефтешламы (донные отложения резервуаров)			
Нефтяные резервуары	0-10	0,1-3,0	87-98
Мазутные резервуары	0-20	1-10	50-84

Характеристика нефтешламов водоочистных сооружений показывает, что, в первую очередь, необходимо исследовать возможность применения и переработки нефтешламов данного типа в процессах и продуктах, где не предъявляются жесткие требования по содержанию воды, механических примесей.

Одним из самых сложных моментов переработки нефтешламов является их обезвоживание. Нефтешламы водоочистных сооружений (НВОС) характеризуются повышенным содержанием воды до 80 % масс. и

механических примесей – от 10 до 30 % масс., содержание углеводородов колеблется также в широких пределах – 20-58 % масс.

Для проведения испытаний был произведен отбор проб НВОС. Результаты испытаний представлены в таблице 2. Установлено, что НВОС имеет высокую плотность, содержание воды и механических примесей. Оценивая содержание основных групп углеводородов в органической части НВОС очистных сооружений, видно, что преобладающими группами являются ароматические и парафиновые углеводороды, при этом отмечается достаточно высокая доля смол. НВОС также характеризуется высоким содержанием металлов, что связано с применением в процессе очистки коагулянтов, а также попаданием следовых количеств катализаторов и песочной пыли.

Таблица 2 – Физико-химические характеристики нефтешламов очистных сооружений

Показатели качества	Значение показателя
Массовая доля механических примесей, %	20,0
Массовая доля воды, %	59,1
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	1041
Теплота сгорания (низшая) в пересчете на сухое топливо, кДж/кг	23685
Массовая доля общей серы, %	1,3
Массовая доля углерода, %	43,6
Массовая доля водорода, %	8,2
Массовая концентрация металлов, ppm:	
алюминий	10147
кремний	1667
натрий	373
ванадий	13
железо	9052
Групповой состав, % масс.:	
насыщенные углеводороды	19,9
ароматические углеводороды	55,8
смолы	20,8
асфальтены	3,5

На нефтеперерабатывающих предприятиях в качестве типового метода для подготовки НВОС используются промышленные трехфазные центрифуги таких компаний, как Flottweg и Альфа-Лаваль. На трехфазных центрифугах при переработке пеношламов с

флотаторов происходит отделение нефтепродукта от водной и твердой фазы. Недостаточное эффективное разделение приводит к тому, что фазы отделяются не четко, вода, содержащаяся в пеношламе, попадает, как в нефтепродукт, так и твердую фазу – НВОС.

С целью увеличения полноты разделения нефтешлама необходимо применение на установках центрифугирования специальных высокоэффективных реагентов – флокулянтов. Флокулянты позволяют высококачественно удалить воду из НВОС, после чего дополнительные методы обезвоживания НВОС не нужны.

За счёт использования полимерных флокулянтов катионного типа удалось высокоэффективно убрать воду из пеношлама и разделить его на три фазы – обезвоженный нефтепродукт, вода и НВОС. При эффективной работе центрифуги и использовании флокулянтов можно добиться содержания воды в НВОС до 1,0 % масс. В то же время на ряде нефтеперерабатывающих предприятий наблюдается неэффективная работа центрифуг, что приводит к повышенному содержанию воды (> 50 % масс.) и механических примесей в НВОС. В качестве альтернативных способов обезвоживания НВОС предлагается рассмотреть экстракционную перегонку и сушку.

В ходе исследований проверялась возможность обезвоживания нефтешламов альтернативными методами, в частности экстрактивной ректификацией с использованием растворителей [1-4]. В качестве них применялись низкотемпературные продукты нефтеперерабатывающего и нефтехимического производств: бентол (смесь бензола и толуола), бензол, прямогонная бензиновая фракция 70-95°C, бензольная фракция 50-90°C с установки риформинга.

В лабораторных условиях была собрана установка с замкнутым циклом, которая позволяет удалять воду и возвращать используемый растворитель обратно в систему. Процесс вели при температуре в кубе 80-110°C – достаточной температуре для обезвоживания. Увеличение температуры нецелесообразно, так как это приведет уже к деструктивным изменениям нефтешлама. Процесс удаления воды из НВОС проходил плавно, гидроудары не наблюдались. Растворитель возвращался рециклом после отделения от водной фазы. По окончании испытания в колбе оставалась только твердая фаза.

Баланс обезвоживания способом ректификации с добавлением некоторых экстрактивных растворителей представлен в таблицах 3-6. Минимальный эффект по обезвоживанию наблюдается при использовании прямогонной фракции 70-95°C.

За счет применения растворителей, содержащих ароматические углеводороды, при смешении с обводненным шламом и последующей экстрактивной перегонке, удалось удалить воду из НВОС на уровне 74,2-77,8 % и на такой же процент снизить количество твердой фазы НВОС. В оптимальном варианте (таблицы 5 и 6) удалось достичь конечно-го содержания воды менее 1,0 % масс.

Таблица 3 – Баланс по обезвоживанию НВОС с использованием бентола

Приход	% масс	Расход	% масс.
Нефтешлам (обводненный)	100	Нефтешлам (безводный)	24,7-25,8
		Вода + потери	74,2-75,3
Итого	100	Итого	100
Бентол	100	Бентол	82,4
	-	Возвратные потери	17,6
Итого	100	Итого	100

Таблица 4 – Баланс по обезвоживанию нефтешламов очистных сооружений с использованием прямогонной фракции

Приход	% масс	Расход	% масс.
Нефтешлам (обводненный)	100	Нефтешлам (безводный)	55,4-58,8
		Вода + потери	41,2-44,6
Итого	100	Итого	100
Фр. 70-95°C	100	Фр. 70-95°C	85,9
		Возвратные потери	14,1
Итого	100	Итого	100

Таблица 5 – Баланс по обезвоживанию нефтешламов очистных сооружений с использованием бензола

Приход	% мас с.	Расход	% масс.
Нефтешлам (обводненный)	100	Нефтешлам (безводный)	22,3 – 22,5
		Вода + потери	77,5-77,7
Итого	100	Итого	100
Бензол	100	Бензол	86,6
		Возвратные потери	13,4
Итого	100	Итого	100

Таблица 6 – Баланс по обезвоживанию нефтешламов очистных сооружений с использованием бензолсодержащей фракции

Приход	% масс.	Расход	% масс.
Нефтешлам (обводненный)	100	Нефтешлам (безводный)	22,2-22,7
		Вода + потери	77,3-77,8
Итого	100	Итого	100
Фр. 50-90°С	100	Фр. 50-90°С	84,8
	-	Возвратные потери	15,2
Итого	100	Итого	100

Третьим вариантом стал процесс сушки. Без использования различных реагентов при нагреве удаление воды из НВОС происходит эффективно, но отличием от других способов является продолжительность процесса. На данный способ по обезвоживанию затрачивается большее количество времени и энергетических затрат, чем на остальные. В таблице 7 представлена сравнительная таблица по результатам использования трех методов обезвоживания НВОС.

Все три варианта удаления воды приводят к получению обезвоженной твердой фазы НВОС. Для выбора оптимального промышленного варианта для обезвоживания

нужно провести дополнительные экспериментальные исследования, оценить наличие требуемого оборудования на рынке, провести оценку капитальных и эксплуатационных затрат.

Таблица 7 – Сравнительные данные по обезвоживанию НВОС

Способ обезвоживания	Содержание воды, % масс.		Длительность процесса, час
	до	после	
Сушка	78,0	следы	3,0-4,0
Экстракционная перегонка		менее 1,0	2,0-2,5
Реагенты		менее 1,0	1,0-1,5

Таблица 8 – Характеристики дорожного битума с добавлением обезвоженного нефтешлама

Показатели качества	Норма по ГОСТ 33133	Состав пробы		
		Битум	Добавление шлама, %	
			0,5	1,0
Глубина проникновения иглы при 25°С, 0,1 мм	101-130	118	116,5-118,0	119,0-120,5
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	не ниже 45	45,0	45,2-46,6	45,1-45,8
Растяжимость при 0°С, см	не менее 4	4,0	4,0-4,2	4,1-4,2
Температура хрупкости, °С	не выше минус 20	-25	-26	-28
Температура вспышки, °С	не ниже 230	280	274,0-276,0	266,0-270,0

Изменение массы образца после старения, %	не более 0,7	0,3	0,25-0,3	0,35-0,4
Изменение температуры размягчения после старения, °С	не более 7	6,4	6,0-6,2	6,0-6,3

Данные, представленные в таблице 8, показывают, что НВОС после обезвоживания можно дозированно вовлекать до 1 % мас. в нефтяной дорожный битум, при этом качество битума будет соответствовать требованиям НД [5]. Битумные композиции могут быть использованы не только в составе асфальтобетонных смеси, но и для устройства кровель и гидроизоляции строительных конструкций.

Возможность вовлечения нефтесодержащих отходов в процесс производства битумов, так называемых битумных композиций, сможет снизить вредное влияние нефтешлама на окружающую среду и уменьшить накопление НВОС на производстве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Галиуллин Э.А., Фахрутдинов Р.З.** Обезвоживание нефтешламов термомеханическим методом // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 4. – С. 269-270.
2. **Ишков А.Г., Аكوпова Г.С., Козлов С.И., Попов П.Б., Прыскалов И.Н.** Установки для утилизации нефтешламов // Экология и промышленность России. – 2012. – № 9. – С. 18-23.
3. **Лагутенко М.А., Литвинова Т.А., Косулина Т.П.** Направления совершенствования технологии термического обезвреживания нефтесодержащих отходов //

Политематический Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 123(09). – С. 71-83.

4. **Чертег К.Л., Назаров В.Д., Назаров М.В., Тупицына О.В., Галинуров И.Р., Разумов В.Ю.** Технология переработки нефтешламов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. – № 6. – С. 35-39.

5. ГОСТ 33133. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования. – Введ. 2015-10-01. – М: ОАО «ВНИИ НП», 2015. – 11 с.