

Анализ существующих технологий переработки нефтяного шлама в полимерные добавки для асфальтобетона

Т.П. Глум*, С.О. Меньшиков**, Ю.Д. Смирнов***

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

E-mail: *tikhonglum@gmail.com, **stepan47@bk.ru, ***smirnov_yud@pers.spmi.ru

Аннотация. В статье рассмотрены известные сведения об основном виде отходов нефтедобывающей отрасли – нефтяном шламе. Представлены и проанализированы существующие способы и технологии переработки нефтяного шлама в полимерные добавки для асфальтобетона. Выявлены основные проблемы и недостатки рассмотренных в исследовании способов переработки нефтяного шлама.

Ключевые слова: нефтяной шлам, шламовый амбар, отходы нефтедобычи, переработка нефтяного шлама, асфальтобетон, полимерная добавка.

Для цитирования: Глум Т.П., Меньшиков С.О., Смирнов Ю.Д. Анализ существующих технологий переработки нефтяных шламов в полимерные добавки для асфальтобетона // Актуальные проблемы нефти и газа. 2021. Вып. 4(35). С. 68–77. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-35.art6>

Введение

Нефтяные шламы – отходы, образующиеся на всех этапах добычи, транспортировки и переработки нефти – это сложные физико-химические смеси, включающие нефтепродукты, механические примеси (глины, окислы металлов, песок) и воду. Стабилизация смесей достигается присутствием газообразных компонентов, то есть продуктов биологического разрушения органических веществ [1].

Большие объемы, необходимость выделения дополнительных площадей для хранения, негативное воздействие на окружающую среду – это только часть серьезных проблем, которые нефтяной шлам создает на нефтедобывающих предприятиях. На территории Российской Федерации ежегодно образуется более 3 млн т нефтеотходов, причем, в зависимости от условий добычи,

средние объемы нефтяных шламов с одного месторождения могут достигать 20 000 м³ в год [2].

Основные проблемы, связанные с хранением нефтешламовых отходов [3]:

1. Высокая обводненность нефтяных шламов непосредственно при их образовании.

Высокий процент содержания воды в отходах, направляемых на хранение, приводит к тому, что вместе со шламом в амбаре хранится много жидкости.

2. Содержание в смеси $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $Ca(OH)_2$, полиакриламида.

Указанные химические вещества являются токсичными и представляют повышенную опасность для окружающей среды, а также для здоровья человека [4].

3. Риск инфильтрации в окружающую среду.

Отходы попадают за пределы шламового амбара, в том числе, в результате перелива из хранилища при попадании атмосферных осадков и увеличении объема жидкой составляющей шлама. Как правило, это вызвано плохим состоянием стенок шламовых амбаров. Попадая в почву, содержащиеся в отходах углеводороды загрязняют ее, выводят из народнохозяйственного оборота, [5], требуют рекультивации – сложного и дорогостоящего процесса, особенно в условиях сурового климата.

В настоящее время на предприятиях нефтедобывающего производства, охватывающих полный цикл добычи, транспортировки, переработки и т.д., возникает потребность в большом объеме работ по строительству автотранспортных магистралей. Вероятно, переработка отходов позволит предприятиям использовать их составляющие в сооружении дорожного

покрытия, минимизировать технологические потери нефти, а также снижать негативное воздействие на окружающую среду [6, 7].

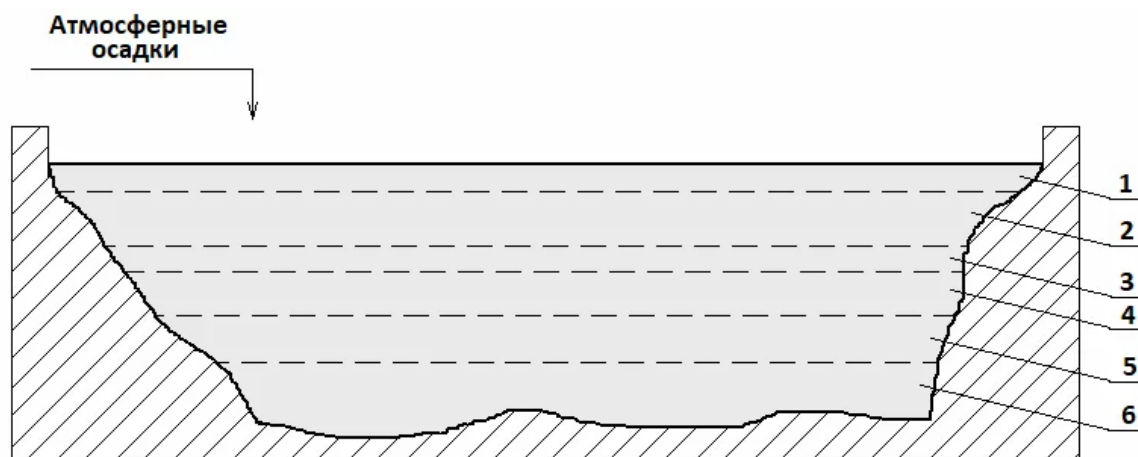
Целью работы является обзор и анализ существующих технологий переработки нефтяных шламов.

Свойства и состав нефтяных шламов

По токсичности нефтяные шламы являются промышленными отходами 3-го класса опасности [8], что подтверждает необходимость их утилизации или переработки [9].

Нефтяные шламы содержат: нефтепродукты, механические примеси, воду, неорганическую часть (кислород, кремний, алюминий, железо), органическую часть (ароматические углеводороды, парафины, тяжелые фракции нефти), а также минералы (кварц, кальцит, галит, полевые шпаты, гематит) [10, 11].

На рис. 1 приводится схема пруда-отстойника шламового амбара [7].



Поуровневые слои:

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 1 – нефтемаслостойкий | 4 – эмульсионно-шламовый |
| 2 – водный | 5 – суспензионно-шламовый |
| 3 – свежешламовый черный | 6 – битумно-шламовый |

Рис. 1. Схема пруда-отстойника шламового амбара [7]

Особую ценность для технологий переработки имеет слой 6 (битумно-шламовый), представляющий из себя вязкую пасту, богатую ароматическими углеводородами.

По ходу естественного испарения влаги из шламонакопителя теряется

жидкотекучая часть нефтяного шлама. В результате формируется смесь из отходов разной степени пластичности.

Нефтяной шлам бывает нескольких видов. Фазовые характеристики нефтеотходов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Продукты первичной обработки сырой нефти [12]

№	Происхождение отходов	Начальное фазовое состояние
1	Нефтесодержащие осадки из очистных сооружений	Полужидкое, влажность 85-97%
2	Жидкие нефтеотходы из очистных сооружений	Жидкое, влажность до 75%
3	Шламы из прудов-накопителей нефтеперерабатывающего цеха	Полужидкое, влажность до 75%
4	Верхний слой шлама из прудов-накопителей нефтеперерабатывающего цеха	Жидкое, влажность 85,5-91%
5	Нефтесодержащие осадки из кустовых сооружений и очистных сооружений крупных предприятий	Полужидкое, влажность 80-87,5%

Интерес для исследования вызывают шламы из прудов-накопителей нефтеперерабатывающего цеха, в том числе верхний слой такого шлама. Это вызвано тем, что наибольшее количество нефтяного шлама образуется на первом этапе нефтепереработки [13].

Переработка нефтяных шламов

Существуют два основных способа взаимодействия с промышленными отходами в любом горном производстве:

1. Захоронение;
2. Переработка.

Захоронение – это изоляция отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, в специальных хранилищах с целью предотвращения попадания содержащихся в них вредных веществ в окружающую среду [14].

Применяемый в настоящее время подход к захоронению отходов не соответствует современным экологическим стандартам Российской Федерации. Отказ от используемого метода обращения с отходами заложен в Национальный проект «Экология» [15].

Переработка – это использование отходов для производства продукции, включая их повторное применение (рециклинг), возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация) [14].

Основные методы переработки нефтяных шламов представлены в табл. 2, составленной авторами по материалам статьи Афанасьева С.В., Паис М.А. и др. [7].

Таблица 2

Способы переработки нефтяного шлама

№ п/п	Способ	Суть процесса	Преимущества	Недостатки
1	Термический	Сжигание в печах, открытых амбарах	– простое техническое оформление; – низкая цена;	– невозможность использования при содержании фосфора, галогенов, серы;
2	Физический	Гравитационное отстаивание, разделение фильтрованием, экстракция	– большой опыт применения; – невысокая стоимость реагентов (в случае экстракции);	– образование многотоннажных не утилизируемых отходов; – низкая эффективность метода;
3	Химический	Нейтрализация реагентом (как правило, оксидом щелочноземельных металлов)	– высокая скорость очистки;	– высокий расход реагентов; – образуются токсичные отходы;
4	Физико-химический	Коагуляция	– высокая эффективность;	– высокий расход реагентов, следовательно, высокая цена; – невозможность применения для трудно-расплаиваемых высоковязких нефтешламов с повышенным содержанием парафинов и асфальтенов;
5	Биологический	Микробиологическое разложение, биотермическое разложение	– простое техническое оформление; – безвредно для экосистем;	– крайне низкая скорость процесса;

Существующие способы переработки нефтяных шламов имеют ряд ключевых недостатков [16]:

– в результате переработки отходы не могут быть использованы как полезный продукт;

– переработка требует большого расхода вспомогательных реактивов.

В результате проведения патентного поиска были найдены существующие способы и технологии переработки нефтяного шлама (табл. 3).

Таблица 3

Отечественные патенты на изобретения способов и технологий переработки нефтяных шламов

Патент на изобретение	Суть способа	Источник
1	2	3
Патент RU 2217476 С1. Способ обработки нефтесодержащих шламов. Патентообладатель: ОАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, 2007	Способ заключается в разбавлении нефтешлама нефтью, нагреве и разделении в трехфазной декантерной центрифуге на нефть, воду и концентрат механических примесей. Остаточную воду из нефти отгоняют с легкими углеводородами. Часть нагретой нефти возвращают на обработку поступающего нефтешлама. Твердую фазу разделяют на два потока: очищенную твердую фазу и обработанный дистиллят	[17]

Продолжение таблицы 3

1	2	3
<p>Патент на полез. модель RU 69065 U1. Технологический комплекс по переработке нефтесодержащих отходов. Патентообладатель: ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез», 2007</p>	<p>Нефтесодержащие отходы – нефтешламы, извлекаемые из пруда с помощью устройства, поочередно загружают через люки в одну из двух и более приемных емкостей, снабженных перемешивающими устройствами, пароподогревателями, расположенными вдоль стенок приемных емкостей и системами контроля температуры и уровня</p>	[18]
<p>Патент RU 2353642 C1. Способ утилизации нефтезагрязненного проппанта. Патентообладатель: ГОУ ВПО «Тюменский государственный университет», 2009</p>	<p>Способ утилизации нефтезагрязненного проппанта на существующем оборудовании, включающий отмывку проппанта в моющем растворе с использованием поверхностно-активных веществ при вращательном перемешивании до полного очищения от нефтепродуктов, сушку при температуре 100–300 °С, нанесение на прогретые до температуры 120–180 °С гранулы проппанта покрытия – фенол-формальдегидной смолы-новолачной с последующим остыванием, отверждением и фракционированием и использование полученного проппанта при гидравлическом разрыве пласта</p>	[19]
<p>Патент RU 2465219 C2. Способ утилизации нефтешлама из шламонакопителя. Патентообладатель – ООО «КОАТЕК», 2012</p>	<p>Способ утилизации нефтешлама включает подачу в шламонакопитель через парораспределитель и активные сопла паровых эжекторов пара. В поток периодически с помощью дозатора впрыскивают дозированное количество деэмульгатора. Затем происходит активное перемешивание в эжекторе нефтешлама, донного осадка и пара</p>	[20]
<p>Патент RU 2656673 C2. Способ гидрогенизационной переработки нефтяного шлама. Патентообладатель: ПАО «Электрогорский институт нефтепереработки», 2018</p>	<p>Для подготовки нефтяного шлама осуществляют его контакт с растворителем в экстракторе, экстракцию при постоянном перемешивании и продувке инертным газом, выделение из экстракта воды, части растворителя и фракции легких углеводородов, кипящих до 350 °С. Остальную часть экстракта отстаиванием и декантацией разделяют на жидкую органическую фазу и осадок. Последний направляют на повторную экстракцию</p>	[21]

Изучение известных патентов выявило следующие проблемы:

1. Переработка нефтяного шлама предполагает расход дорогостоящих реагентов в крупном объеме;

2. Образование токсичных экстрагентов в результате переработки

нефтяного шлама является серьезной экологической задачей, решение которой на сегодняшний день отсутствует;

3. Получаемые в процессе переработки полимеры не могут быть использованы при строительстве автодорог [22].

Это обуславливает необходимость разработки новых технологий переработки нефтяных шламов, поиска технических решений для получения битумно-полимерных добавок для асфальтобетона.

Асфальтобетон представляет собой многокомпонентную смесь для строительства автодорог, включающую в себя минеральные компоненты, а также связующие органические добавки. Различные добавки улучшают общее качество дорожного полотна, например, снижают степень воздействия на них атмосферных осадков [23].

Суть технологии производства асфальтобетонной смеси состоит в перемешивании определенных компонентов в нагретом состоянии [24] и добавления модифицирующих компонентов.

Органические добавки повышают устойчивость асфальтобетона на сдвиг, упругость при нагреве, стойкость к образованию трещин [23], выступают в качестве вяжущего материала.

К основным преимуществам переработки шлама в полимерную добавку для асфальтобетона можно отнести:

– трансформацию отходов в полезный продукт, что повышает эффективность предприятия и снижает издержки;

– повышение экологичности производства.

Ожидаемые недостатки метода переработки шлама в полимерную добавку:

– небольшой опыт применения технологий по переработке нефтяных шламов в полимерно-битумные добавки для асфальтобетона на предприятиях добычи нефти в Российской Федерации,

– необходимость перестраивания всей цепи обращения с отходами на предприятии.

Выводы

Нефтяной шлам является одним из самых объемных видов отходов нефтяной промышленности.

Все известные способы переработки нефтяного шлама имеют недостатки.

Дальнейшие исследования авторов предполагают разработку методики получения полимерных добавок для асфальтобетона из отходов нефтяной промышленности с проведением лабораторных исследований.

Литература

1. Кунаков К.О., Крючков М.В. Анализ нефтяных шламов с применением амперометрических ионоселективных электродов // Записки Горного института. 2008. Т. 174. С. 215–216.
2. Коришнова Т.Ю., Логинов О.Н. Нефтешламы: состояние проблемы в Российской Федерации и методы снижения их воздействия на окружающую среду // Экобиотех. 2019. Т. 2, № 1. С. 75–85. <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-1-75-85>
3. Гронь В.А., Коростовенко В.В., Шахрай С.Г. и др. Проблема образования, переработки и утилизации нефтешламов // Успехи современного естествознания. 2013. № 9. С. 159–162.
4. Стриженок А.В. Экологическая оценка хранилищ нефтяного шлама как источника воздействия на приземную атмосферу // Наука XXI века: новый подход: Материалы XXV молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Санкт-Петербург, Россия, 11–12 ноября 2020. Моррисвилль: Лулу Пресс, 2020. С. 48–52.

5. *Bykova M.V., Alekseenko A.V., Pashkevich M.A., Drebenstedt C.* Thermal desorption treatment of petroleum hydrocarbon-contaminated soils of tundra, taiga, and forest steppe landscapes // *Environmental Geochemistry and Health*. 2021. Vol. 43, No. 6. P. 2331–2346. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00802-0>
6. *Решетов В.А., Павлов В.Т., Павлов А.Т.* и др. Пат. RU 2193578 С2. Способ переработки нефтесодержащих шламов. № 2000122265/04; Заявл. 24.08.2000; Оpubл. 27.11.2002 // *Изобретения. Полез. модели*. 2002. Бюл. № 33. <http://www.fips1.ru>
7. *Афанасьев С.В., Паус М.А., Носарев Н.С.* Нефтешламы как вторичное сырье // *Деловой журнал Neftegaz.RU*. 2020. № 3,5 (99.5). С. 86–92.
8. Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов: Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 04.10.2021) // *Консультант Плюс*. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071/
9. *Крыса В.В., Малышкин М.М.* Методика определения класса опасности соленых буровых шламов // *Записки Горного института*. 2013. Т. 203. С. 50–54.
10. *Ишков А.Г., Аكوпова Г.С., Козлов С.И.* и др. Установки для утилизации нефтешламов // *Экология и промышленность России*. 2012. № 9, С. 18–23.
11. *Соловьянов А.А.* Переработка нефтешламов с использованием химических и биологических методов // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2012. № 5. С. 30–39.
12. *Пальгунов П.П., Сумарков М.В.* Утилизация промышленных отходов М.: Стройиздат, 1990. 352 с.
13. *Strizhenok A.V., Ivanov A.V.* Monitoring of air pollution in the area affected by the storage of primary oil refining waste // *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22, No. 1. P. 60–67. <https://doi.org/10.12911/22998993/128873>
14. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ // *Официальный интернет-портал правовой информации*. <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102053807>
15. Национальный проект «Экология» 2019–2024 // *Стратегия 24 – общероссийская цифровая платформа*. <https://strategy24.ru/rf/ecology/projects/natsional-nuy-proyekt-ekologiya> (Дата обращения 24.09.2021).
16. *Суфиянов Р.Ш., Фассахов Р.Х., Саханов Я.М.* и др. К проблеме обезвреживания нефтяных шламов // *Известия вузов. Нефть и газ*. 2005. № 6. С. 117–120.
17. *Губайдуллин Ф.Р., Сахабутдинов Р.З., Исмагилов И.Х.* и др. Пат. RU 2217476 С1. Способ обработки нефтесодержащих шламов. № 2002114896/04; Заявл. 05.06.2002; Оpubл. 27.11.2003 // *Изобретения. Полез. модели*. 2003. Бюл. № 33. <http://www.fips1.ru>
18. *Ващук В.И., Меламед Б.Г., Калинин Н.Ф.* и др. Пат. на полез. модель RU 69065 U1. Технологический комплекс по переработке нефтесодержащих отходов. № 2007126230/22; Заявл. 09.07.2007; Оpubл. 10.12.2007 // *Изобретения. Полез. модели*. 2007. Бюл. № 34. <http://www.fips1.ru>
19. *Рядинский В.Ю., Антропов А.А.* Пат. RU 2353642 С1. Способ утилизации нефтезагрязненного проппанта. № 2007127970/03; Заявл. 20.07.2007; Оpubл. 27.04.2009 // *Изобретения. Полез. модели*. Бюл. № 12. <http://www.fips1.ru>

20. *Исьянов Ф.Т., Корх Л.М.* Пат. RU 2465219 С2. Способ утилизации нефтешлама из шламонакопителя. № 2010138834/05; Заявл. 21.09.2010; Оpubл. 27.10.2012 // Изобретения. Полез. модели. 2012. Бюл. № 30. <http://www.fips1.ru>

21. *Хаджиев С.Н., Кадиев Х.М., Окнина Н.В.* и др. Пат. RU 2656673 С2. Способ гидрогенизационной переработки нефтяного шлама. № 2016140318; Заявл. 13.10.2016; Оpubл. 06.06.2018 // Изобретения. Полез. модели. 2018. Бюл. № 16. <http://www.fips1.ru>

22. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. 9 с.

23. Роль добавок в асфальтобетоне // Асфальтобетонный завод «АБ Столичный». <https://ab-stolichny.com.ua/ru/rol-dobavok-v-asfaltobetone.html> (Дата обращения 24.09.2021).

24. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 51 с.

Analysis of existing technologies for processing oil sludge into polymer additives for asphalt concrete

T.P. Glum*, S.O. Menshikov**, Yu.D. Smirnov***

Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

E-mail: *tikhonglum@gmail.com, **stepan47@bk.ru, ***smirnov_yud@pers.spmi.ru

Abstract. The article deals with the known information about the main type of oil industry waste – oil sludge. Existing methods and technologies of oil sludge processing into polymer additives for asphalt concrete are presented and analyzed. The main problems and shortcomings of the methods of oil sludge processing considered in the study are revealed.

Keywords: oil sludge, sludge pit, oil production waste, oil sludge processing, asphalt concrete, polymer additive.

Citation: *Glum T.P., Menshikov S.O., Smirnov Yu.D.* Analysis of existing technologies for processing oil sludge into polymer additives for asphalt concrete // Actual Problems of Oil and Gas. 2021. Iss. 4(35). P. 68–77. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-35.art6> (In Russ.).

References

1. *Kunakov K.O., Kryuchkov M.V.* Analysis of oil sludge using amperometric ion-selective electrodes // Journal of Mining Institute. 2008. Vol. 174. P. 215–216. (In Russ.).
2. *Korshunova T.Yu., Loginov O.N.* Oil sludge: conditions of the problem in the Russian Federation and methods to reduce their negative influence on the environment // Ecobiotech. 2019. Vol. 2, No. 1. P. 75–85. <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-1-75-85> (In Russ.).
3. *Gron V.A., Korostovenko V.V., Shakhray S.G.* et al. Problems of formation, processing and disposal of oil sludge // Advances in Current Natural Sciences. 2013. No. 9, P. 159–162. (In Russ.).
4. *Strizhenok A.V.* Ecological assessment of oil sludge storage facilities as a source of impact on the surface atmosphere // Science of the XXI Century: A New Approach: Proceedings of the XXV Youth International Scientific-Practical Conference of Students and Young Scientists, St. Petersburg, Russia, 11–12 November 2020. Morrisville, NC: Lulu Press, 2020. P. 48–52. (In Russ.).
5. *Bykova M.V., Alekseenko A.V., Pashkevich M.A., Drebenstedt C.* Thermal desorption treatment of petroleum hydrocarbon-contaminated soils of tundra, taiga, and forest steppe landscapes // Environmental Geochemistry and Health. 2021. Vol. 43, No 6. P. 2331–2346. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00802-0>
6. *Reshetov V.A., Pavlov V.T., Pavlov A.T.* et al. Pat. RU 2193578 C2. Method of processing oil-containing sludges. No. 2000122265/04; Appl. 24.08.2000; Publ. 27.11.2002 // Inventions. Useful models. 2002. Bull. No. 33. <http://www.fips1.ru>
7. *Afanasiev S.V., Pais M.A., Kosarev N.V.* The sludge as secondary raw materials // Business Magazine Neftegaz.RU. 2020. No. 3,5 (99.5). (In Russ.).
8. On the approval of the Federal Waste Classification Catalogue: Order of the Federal Service for Supervision of Natural Resources and Environment from 22.05.2017 No. 242 (ed. 04.10.2021) // Consultant Plus. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071 (In Russ.).

9. *Krysa V.V., Malyshkin M.M.* Method for determination of wasted hazard class of salty drill cuttings // Journal of Mining Institute. 2013. Vol. 203. P. 50–54. (In Russ.).
10. *Ishkov A.G., Akopova G.S., Kozlov S.I.* et al. Plants for oil sludge recycling // Ecology and Industry of Russia. 2012. No. 9. P. 18–23. (In Russ.).
11. *Solovyanov A.A.* Chemical and biological methods of oil sludge treatment // Environmental Protection in Oil and Gas Complex. 2012. No. 5. P. 21–27. (In Russ.).
12. *Palgunov P.P., Sumarkov M.V.* Utilization of industrial waste. Moscow: Stroyizdat, 1990. 352 p. (In Russ.).
13. *Strizhenok A.V., Ivanov A.V.* Monitoring of air pollution in the area affected by the storage of primary oil refining waste // Journal of Ecological Engineering. 2021. Vol. 22, No. 1. P. 60–67. <https://doi.org/10.12911/22998993/128873>
14. On Production and Consumption Wastes: Federal Law from 24 June 1998 No. 89-FZ // Official Internet Portal of Legal Information. <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102053807> (In Russ.).
15. National Ecology Project 2019–2024 // Strategy 24 – All-Russian digital platform. <https://strategy24.ru/rf/ecology/projects/natsional-nyy-proyekt-ekologiya> (Accessed on 24.09.2021). (In Russ.).
16. *Sufiyarov R.S., Fassakhov R.H., Sakhapov I.M.* et al. On the issue of neutralization of oil sludge // Oil and Gas Studies. 2005. No. 6. P. 117–120. (In Russ.).
17. *Gubajdullin F.R., Sakhabutdinov R.Z., Ismagilov I.Kh.* et al. Pat. RU 2217476 C1. Method of oil-bearing slimes refining. No. 2002114896/04; Appl. 05.06.2002; Publ. 27.11.2003 // Inventions. Useful models. 2003. Bull. No. 33. <http://www.fips1.ru>
18. *Vashchuk V.I., Melamed B.G., Kalinin N.F.* et al. Pat. RU 69065 U1. Technological complex for processing oily waste; No. 2007126230/22; Appl. 09.07.2007; Publ. 10.12.2007 // Inventions. Useful models. 2007. Bull. 34. <https://www1.fips.ru> (In Russ.).
19. *Rjadinskij V.J., Antropov A.A.* Pat. RU 2353642 C1. Method of oil-polluted proppant utilization. No. 2007127970/03; Appl. 20.07.2007; Publ. 27.04.2009 // Inventions. Useful models. 2009. Bull. No. 12. <http://www.fips1.ru>
20. *Isjanov F.T., Korkh L.M.* Pat. RU 2465219 C2. Method of recycling oil sludge from sludge collector. No. 2010138834/05; Appl. 21.09.2010; Publ. 27.10.2012 // Inventions. Useful models. 2012. Bull. No. 30. <http://www.fips1.ru>
21. *Khadzhiev S.N., Kadiev Kh.M., Oknina N.V.* et al. Pat. RU 2656673 C2. Method of hydrogenization processing of oil sludge. No. 2016140318; Appl. 13.10.2016; Publ. 06.06.2018 // Inventions. Useful models. 2018. Bull. No. 16. <http://www.fips1.ru>
22. GOST 22245-90. Viscous petroleum road bitumens. Specifications. Moscow: Standards Publ. House, 1996. 9 p. (In Russ.).
23. The role of additives in asphalt concrete // AB Stolichny Asphalt Plant. <https://ab-stolichny.com.ua/ru/rol-dobavok-v-asfaltobetone.html> (Accessed on 24.09.2021).
24. GOST 9128-2013. Asphaltic concrete and polymer asphaltic concrete mixtures, asphaltic concrete and polymer asphaltic concrete for road and aerodromes. Specifications. Moscow: Standartinform, 2014. 51 p. (In Russ.).