https://elibrary.ru/sosxcv
УДК 665.76 DOI: 10.33075/2220-5861-2025-2-83-89

К ВОПРОСУ О ПРОБЛЕМЕ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Р.Ф. Мулюкова, И.Р. Яушева, Э.К. Аминова, Л.З. Касьянова, А.А. Исламутдинова

ИХТИ ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке, РФ, Республика Башкортостан, г. Стерлитамак, пр. Октября, 2
E-mail: k.elmira.k@yandex.ru

В статье рассматривается экологическая проблема, связанная с отработанными моторными маслами. Для решения этой проблемы предлагается экологически безопасное решение — переработка отработанного масла с целью его вторичного использования. В статье описываются существующие методы переработки отработанных моторных масел. Адсорбционная очистка моторного масла – это процесс удаления загрязнений из отработанного масла с использованием адсорбентов. Очистка основана на способности определенных твердых веществ (адсорбентов) притягивать и удерживать на своей поверхности молекулы загрязняющих веществ из масла. Загрязнители адсорбируются на поверхности адсорбента за счет физических и химических взаимодействий. В рамках исследования была проведена адсорбционная очистка и анализ физико-химических характеристик сырья – отработанного моторного масла «Castrol 5W-30». На основе полученных данных был получен опытный образец очищенного моторного масла. Затем была проведена оценка нормативных физико-химических показателей очищенного моторного масла. Результаты исследования могут быть полезны для специалистов, работающих в области экологии, нефтепереработки и автомобильной индустрии. Таким образом, статья представляет собой глубокое исследование проблемы отработанных моторных масел и предлагает эффективное решение для снижения негативного воздействия на окружающую среду, что делает её значимым вкладом в область экологической безопасности и устойчивого развития.

Ключевые слова: отработанные моторные масла, экология, утилизация, методы переработки, вторичное использование, охрана окружающей среды

Поступила в редакцию: 15.02.2025. После доработки: 03.06.2025. Принята к печати: 20.06.2025.

Введение. В современном мире проблема экологии становится всё более актуальной. Одной из важных экологических проблем является утилизация отработанных моторных масел (ОММ). ОММ представляют собой отходы, которые образуются в результате эксплуатации транспортных средств и промышленного оборудования. Они содержат вредные вещества, такие как тяжёлые металлы (ТМ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и другие загрязнители, которые могут нанести серьёзный вред окружающей среде и здоровью человека [1].

Проблема утилизации ОММ заключается не только в их потенциальной опасности для окружающей среды, но и в том, что они являются ценным ресурсом, который может быть использован повторно после соответствующей обработки. Переработка отработанных ОММ позволяет снизить нагрузку на окружающую среду, а также получить вторичное сырьё, которое может быть использовано в различных отраслях промышленности. Поэтому особое внимание уделяется перспективам развития отрасли переработки ОММ и её влиянию на экологическую ситуацию в целом [2].

В Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО) использованные масла, в том числе моторные, включены в Блок 4 «отходы потребления, производственные и непроизводственные» и являются III классом риска [3].

Для восстановления отработанного масла используются разные технологические процессы на основе физических, физико-химических и химических процессов, а именно обработка масла, чтобы

удалить из него продукты старения и примеси [4].

В качестве технологических процессов обычно применяются следующие последовательности методов:

– механические (удаление свободной воды, твердых составляющих масла);

– теплофизические (выпаривание, вакуумная дистилляция);

– физико-химические (коагуляция, адсорбция).

Если этого недостаточно, применяются химические методики для восстановления масла, только с использованием более сложной техники, требующей высоких расходов.

Правильно подобранная технология очищения позволяет удалять приоритетные загрязнения из отработанных масел, таким образом, отработанное масло может быть переработано в базовое масло или в мазут и использовано как сырье для производства масел нефти [4].

Целью данной работы являются изучение состава и свойств ОММ, их воздействия на окружающую среду и здоровье человека, а также изменения состава отработанного моторного масла «Castrol 5W-30» при использовании экологически безопасного метода адсорбционной очистки отбеливающей глиной. Очищение проводится по следующему принципу: отстаивание масла, адсорбция, центрифугирование, фильтрование.

Материалы и методы. Объектами исследования являются отработанное моторное масло «Castrol 5W-30» и сорбент - отбеливающая глина. Для исследования процесса регенерации изучались образцы отработанного моторного масла, а также, для проведения сравнительного анализа физико-химических характеристик – образцы товарного моторного масла, не побывавшего в эксплуатации.

В процессе эксплуатации моторное масло загрязняется различными веществами, представляющими экологическую опасность. Наиболее значимые из них: ПАУ, образуются в результате неполного сгорания топлива. К ним относятся: бензо[а]пирен, флуорантен, индоперен. Содержание ПАУ в отработанном масле зависит от типа двигателя, топлива и условий эксплуатации. ТМ попадают в масло в результате износа деталей двигателя, а также из топлива. К ним относятся: свинец, хром, медь, никель, железо, цинк. Механические примеси: сажа (от сгорания топлива), абразивные частицы (пыль), продукты износа деталей. Вода и топливо попадают в масло из-за конденсации, утечек и неполного сгорания топлива.

Выполнена проверка состояния синтетического моторного масла «Castrol 5W-30», применяемого в системе смазки двигателя дизельного автомобиля различными способами: определение плотности, вязкости, кислотного числа, температуры вспышки.

Моторное масло «Castrol 5W-30» – это синтетическое масло, относящееся к высшему классу, всесезонное, многофункциональное, применяется как в бензиновых, так и в дизельных двигателях, характеризуется хорошей текучестью при низких температурах. Оно обеспечивает защиту двигателя от износа, коррозии и образования отложений. Для сравнительных исследований эффективности очистки отработанного моторного масла в качестве сорбента была использована глина Талалаевского месторождения Республики Башкортостан и кизельгур «Масис А-1» Республики Армении.

Талалаевское месторождение тугоплавких глин расположено в Стерлитамакском районе Республики Башкортостан. Это полиминеральные глины в состав которых входят каолинит (48–50%), гидрослюда (10–13%), монтмориллонит (0–22%), хлорид (0–19%), кварц (14,52–23,2%).

Химический состав глины Талалаевского месторождения приведен в (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав глины Талалаевского месторождения [5]

Месторождение, марка	Содержание оксидов, %							Гигроскопическая влага, %
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	ППП	
Талалаевское	52,10-58,45	27,75-32,25	2,0-4,0	0,75-0,98	0,97-1,32	сл.-0,05	8,46-12,70	4,46-6,33

Кизельгур «Масис А-1» – это природный материал, который образуется из остатков диатомовых водорослей. Он представляет собой порошок белого цвета с мелкими частицами и обладает рядом уникальных свойств, которые делают его полезным в различных областях применения. В Армении кизельгур добывается на месторождениях, расположенных в окрестностях города Масис. Месторождение «Масис А-1» является одним из крупнейших в стране [6].

Химический состав кизельгура «Масис А1» приведен в (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав кизельгура «Масис А1» [6]

Показатель	Celite
	HSC (грубый)
$Si0_2$	88,9%
Fe_2O_3	1,4 %
$A1_2O_3$	4,0 %
MgO	0,6 %
CaO	0,5 %
Na_2O+K_2O	3,4 %
TiO_3	0,2 %

Методика проведения адсорбции. Адсорбция отработанного моторного масла – это процесс, при котором масло очищается от загрязнений с помощью адсорбентов. В качестве адсорбента применяется отбеливающая глина Талалаевского месторождения и глина Республики Армения.

В реакционную колбу при комнатной температуре загружают отработанное моторное масло и добавляют к нему сорбент – глину, который поглощает загрязнения и примеси. Включают мешалку, пускают воду в холодильник и реакционную колбу нагревают на песчаной бане до 120ºС. Скорость мешалки регулируют с таким расчетом, чтобы происходило интенсивное перемешивание. Установленную постоянную скорость мешалки необходимо поддерживать в течение всего процесса адсорбции, не допуская перерыва в работе и остановки мешалки во избежание оседания сорбента.

Рекомендуется поддерживать температуру 130ºС, не допуская перегрева. Процесс продолжается 2 часа. Масло извлекают из реакционного сосуда и далее направляют на центрифугирование.

Методика проведения центрифугирования. Отработанное масло помещается в центрифугу, где под действием центробежной силы более тяжёлые частицы загрязнений отделяются от масла и оседают на стенках центрифуги.

На пульте управления смонтирован часовой механизм для автоматического выключения привода центрифуги, тахометр для контроля числа оборотов ротора, пакетный переключатель числа оборотов ротора и кнопка электромагнитного тормоза.

Для этого масло, нагретое до 80 ºС, заливают в пробирки центрифуги на ¾ объема. Пробирки в центрифуге устанавливаются симметрично относительно оси вращения в стаканчики ротора центрифуги. При центрифугировании используют скорость вращения 3000 оборотов в минуту. Процесс проводят в течение 60 минут. После окончания центрифугирования масло направляют на фильтрование.

Методика проведения фильтрования. Фильтрование отработанного моторного масла после центрифугирования позволяет удалить из масла сорбент и мелкие частицы загрязнений через фильтрующий элемент, которые не были удалены в процессе центрифугирования.

В качестве фильтрующих элементов используется бумага и вата. Перед началом фильтрования на сетчатую перегородку воронки укладываются фильтровальная бумага и вата, после смачивания фильтра включается насос.

Из каждой пробирки центрифуги отбирают часть масла и разогревают до 80ºС.

После подготовки фильтра, не выключая насос, в центр воронки наливается отработанное масло, медленно заполняя до половины высоты, и далее проводится фильтрование.

Очищенное моторное масло направляют на анализ физико-химических свойств. Отфильтрованный осадок – сорбент с помощью шпателя переносят в бюкс или на лист фильтровальной бумаги для дальнейшего высушивания и процесса регенерации глины.

Определение плотности моторного масла проводится в соответствии с требованиями ГОСТ 18481-1 [7]. В результате исследования было установлено, что высокая плотность отработанного моторного масла обусловлена увеличением количества воды, уплотнительных продуктов окисления и разложения масла, добавок, механических примесей, сажи, а также накоплением нефтяных углеводородов, образующихся при работе двигателя.

Определение вязкости моторного масла проводится в соответствии с требованиями ГОСТ 33-82 [8].

Анализ проводится капиллярным методом, заключающимся в измерении времени истечения определённого объёма испытуемой жидкости через капилляр определённого диаметра под влиянием силы тяжести.

Кинематическую вязкость исследуемого масла, ν в мм^2/с вычисляют по формуле

$$\nu = C \cdot \tau, \qquad (1)$$

где С – постоянная вискозиметра, мм^2/с^2, приняли С = 0,1 мм^2/с^2; τ– среднее арифметическое время истечения нефтепродукта в вискозиметре, с.

Кинематическая вязкость масла составит

$$\nu = 0{,}1 \cdot 761 = 3{,}6 \text{ мм}^2/\text{с}.$$

Динамическую вязкость исследуемого масла, η в мПа·с вычисляют по формуле

$$\eta = \nu \cdot \rho, \qquad (2)$$

где ν – кинематическая вязкость, мм^2/с;ρ – плотность при той же температуре, при которой определялась вязкость, г/см^3.

Динамическая вязкость масла составит

$$\eta = 3{,}6 \cdot 0{,}858 = 3{,}08 \text{ мПа·с}.$$

Определение кислотного числа моторного масла проводится в соответствии с требованиями ГОСТ 5985-79 [9].

Этот показатель характеризует способность масла нейтрализовать коррозионное воздействие на металл, а также его склонность к образованию отложений и изменению физико-химических свойств при эксплуатации.

Кислотное число масла определяют по формуле

$$\text{Кислотное число} = \frac{V \cdot N \cdot 56{,}1}{m}, \qquad (3)$$

где V – объем использованного раствора щелочи, мл; N – нормальность щелочного раствора; 56,1 – молярная масса калия гидроксида; m – масса образца масла, г.

Кислотное число очищенного масла после очистки при $V_{ср.}$ = 5,5 мл и $V_{ср.}$ = 5,6 мл, израсходованного на титрование, составит:

$$К_1 = \frac{5{,}5 \cdot 0{,}05 \cdot 56{,}1}{10 \cdot 0{,}858} = 1{,}80 \; KOH/\text{г};$$

$$К_2 = \frac{5{,}6 \cdot 0{,}05 \cdot 56{,}1}{10 \cdot 0{,}860} = 1{,}83 \; KOH/\text{г}.$$

В результате очистки произошло снижение содержания кислот в масле на 0,92 мг КОН/г и на 0,95 мг КОН/г хотя и существенно, но недостаточно для вос-

становления масла до требуемых параметров. Это может быть связано с: недостаточной эффективностью адсорбции, наличием других загрязнений, которые не были удалены, невозможностью полностью восстановить свойства масла.

Определение температуры вспышки отработанного моторного масла. Температура вспышки – наименьшая температура летучего конденсированного вещества, при которой пары над поверхностью вещества способны вспыхивать в воздухе под воздействием источника зажигания.

Полуавтоматический аппарат ТВЗ-ЛАБ-01 предназначен для определения температуры вспышки в закрытом тигле по методу Пенски – Мартенса [10] в соответствии с ГОСТ 6356-75 [11].

В ходе измерений аппарат автоматически нагревает пробу с требуемой скоростью, вращает мешалку с заданной частотой, и опускает испытательную горелку в тигель по выбранной программе. Момент вспышки определяется визуально, когда подается звуковой сигнал, при этом оператор нажимает кнопку СТОП и на дисплее отображается температура вспышки.

Результаты. Экспериментальные данные по адсорбционной способности очистки отработанного моторного масла сорбентом от примесей представлены в (табл. 3).

Таблица 3. Изменение физико-химических свойств отработанного моторного масла «Castrol 5w30» в процессе регенерации ТУ масла «Castrol 5w30»

Показатель	Масло «Castrol 5w30»			
	Не бывшее в эксплуатации (товарное)	Отработанное	Очищенное (Сорбент – глина Талалаевского месторождения РБ)	Очищенное (Сорбент – кизельгур «Масис А-1» Республика Армения)
1. Плотность при 15 ℃, г/мл	0,852	0,867	0,858	0,863
2. Вязкость кинематическая, мм^2/с, при 40 ℃	75,49	82	76,1	79,4
3. Кислотное число, мг КОН на 1 г	1,78	2,75	1,80	1,83
4. Температура вспышки, ℃	223	229	221	225
5. Коэффициент светопропускания, %	-	100	150,7	137,5
6. Содержание воды	не нормируется	следы	следы	следы

В результате проведённого исследования, можно сделать вывод, что глина Талалаевского месторождения обеспечила более высокую степень очистки масла от загрязнений и примесей, а также позволила восстановить его первоначальные свойства и характеристики.

Глина Республики Армении также продемонстрировала определённые ре-

зультаты, но они оказались менее значительными. Таким образом, на основе полученных данных был разработан новый способ регенерации отработанного масла с использованием отечественного сорбента Талалаевского месторождения РБ. Это связано с минимизацией стоимости логистических затрат, а также пластическими и адсорбционными свойствами глины, что позволяет значительно снизить затраты на приобретение иностранных поставок глины на очистку отработанного масла, уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, в результате удаления механических примесей, воды. Об удалении ПАУ возможно будет судить после проведения хроматографии, а ТМ – после дополнительных химических анализов. Отбеливающие глины демонстрируют способность к адсорбции кислотных компонентов, таких как асфальтены и оксикислоты, что приводит к снижению кислотного числа масла, плотности, температуры вспышки. В результате получаем продукт, который может быть повторно использован в качестве сырья в нефтяной промышленности.

Заключение. В заключение можно сделать вывод, что проблема отработанных моторных масел является актуальной и требует внимания со стороны общества и государства. Переработка отработанных масел – это не только экологически безопасное решение проблемы, но и экономически выгодный способ получения вторичного сырья.

Внедрение современных технологий, а именно адсорбционная очистка отработанного моторного масла с глиной Талалаевского месторождения позволит снизить негативное воздействие на окружающую среду, улучшить экологическую ситуацию и создать дополнительные рабочие места в отрасли. Это важный шаг на пути к устойчивому развитию и сохранению природных ресурсов для будущих поколений.

Работа выполнена при поддержке университета ФГБОУ ВО ИХТИ УГНТУ города Стерлитамака.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азев В.С.* Отработанные масла − компоненты дизельных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2021. № 4. С.11–13.

2. *Евдокимов А.Ю., Джамалов А.А., Лашхи В.Л.* Отработанные смазочные материалы и вопросы экологии // Химия и технология топлива и масел, 1992. № 11. С. 26–29.

3. *Каталог* отходов ФККО – URL https://rialfors.ru/stati/spisok-otkhodov-ot-nekotorykh-vidov-deyatelnosti (дата обращения: 21.01.2025).

4. *Шашкин П.И., Брай И.В.* Регенерация отработанных нефтяных масел. М: Химия. 1970. 304 с.

5. *Глины* Республики Башкортостан - URL:https://studfile.net/preview/7146001/page:6/ (дата обращения: 23.01.2025).

6. *Кизельгур* «Масис А1» Республики Армении – URL https://diatomit-inza.ru/page/kizelgur (дата обращения: 23.01.2025).

7. ГОСТ 18481-81 Ареометры и цилиндры стеклянные. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов. 2007. 23 с.

8. ГОСТ 33-82 Нефтепродукты. Метод определения кинематической и расчет динамической вязкости. М.: Изд-во стандартов. 1991. 22 с.

9. ГОСТ 5985-79 Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа. М.: Изд-во стандартов, 2009. 9 с.

10. *Аппарат* для определения температуры вспышки в закрытом тигле – URL https://loip.ru/catalog/laboratornoe-oborudovanie-proizvodstva-loip/tvz-lab-01-apparat-dlya-opredeleniya-temperaturyi-vspyishki-v-zakryitom-tigle/?ysclid=mawn68jvp3666456745 (дата обращения: 21.01.2025).

11. ГОСТ 6356-75 Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле. М: Изд-во стандартов. 2015. 30 с.

ON THE ISSUE OF THE PROBLEM OF USED MOTOR OILS

R.F. Mulyukova, I.R. Yausheva, E.K. Aminova, L.Z. Kasyanova, A.A. Islamutdinova

Institute of Chemical Technology and Engineering, Ufa State Petroleum Technical University in Sertitamak, RF, Republic of Bashkortostan, Sterlitamak, October Av., 2
E-mail: k.elmira.k@yandex.ru

The article focuses on the environmental problem related to waste engine oils. To solve this problem, an environmentally friendly solution to the problem of the waste oil recycling for the purpose of its secondary use is proposed. The article describes the existing methods of the waste engine oil recycling. Adsorption cleaning of engine oil is the process of removing impurities from waste oil using adsorbents. Purification is based on the ability of certain solids (adsorbents) to attract and retain molecules of pollutants from the oil on their surface. Pollutants are adsorbed on the adsorbent surface due to physical and chemical interactions. As part of the study, adsorption purification and analysis of the physico-chemical characteristics of the raw material, waste Castrol 5W-30 engine oil, were carried out. Based on the data obtained, a prototype of purified engine oil was obtained. Then, an assessment of the standard physical and chemical parameters of the purified engine oil was performed. The results of the study may be useful for specialists working in the fields of ecology, oil refining and the automobile industry. Thus, the article represents an in-depth study of the problem of waste engine oils and proposes an effective solution for reducing the negative impact on the environment, which makes it a significant contribution to the field of environmental safety and sustainable development.
Keywords: waste engine oils, ecology, utilization recycling, recycling methods, secondary use, environmental protection

REFERENCES

1. *Azev V.S.* Otrabotannye masla − komponenty dizel'nyh topliv (Waste oils are components of diesel fuels). *Himija i tehnologija topliv i masel*, 2021, No. 4. pp. 11–13.

2. *Evdokimov A. Ju., Dzhamalov A.A., and Lashhi V.L.* Otrabotannye smazochnye materialy i voprosy ekologii (Used lubricants and environmental issues). *Himija i tehnologija topliva i masel*, 1992, No. 11, pp. 26–29.

3. https://rialfors.ru/stati/spisok-otkhodov-ot-nekotorykh-vidov-deyatelnosti (January 21, 2025)

4. *Shashkin P.I. and Braj I.V.* Regeneracija otrabotannyh neftjanyh masel (Regeneration of waste petroleum oils). Moscow: Himija, 1970, 304 p.

5. https://studfile.net/preview/7146001/page:6/ (January 23, 2025)

6. https://diatomit-inza.ru/page/kizelgur (January 23, 2025)

7. *GOST 18481-81* Areometry i cilindry stekljannye. Obshhie tehnicheskie uslovija (Hydrometers and glass cylinders. General specifications). Moscow: Izd-vo standartov, 2007, 23 p.

8. *GOST 33-82* Nefteprodukty. Metod opredelenija kinematicheskoj i raschet dinamicheskoj vjazkosti (Petroleum products. Method of determination of kinematic and calculation of dynamic viscosity). Moscow: Izd-vo standartov, 1991, 22 p.

9. *GOST 5985-79* Nefteprodukty. Metod opredelenija kislotnosti i kislotnogo chisla (Petroleum products. Method for determination of acidity and acid number). Moscow: Izd-vo standartov, 2009, 9 p.

10. https://loip.ru/catalog/laboratornoe-oborudovanie-proizvodstva-loip/tvz-lab-01-apparat-dlya-opredeleniya-temperaturyi-vspyishki-v-zakryitom-tigle/?ysclid=mawn68jvp3666456745 (January 21, 2025)

11. *GOST 6356-75* Nefteprodukty. A method for determining the flash point in a closed crucible (Petroleum products. Closed crucible flash point method). Moscow: Izd-vo standartov, 2015, 30 p.