

Нефтегазовое дело. 2023. № 2. С. 172–184. ISSN 1813-503X (online)
Oil and Gas Business. 2023. No. 2, P. 172–184. ISSN 1813-503X (online)

Научная статья

УДК 665.6/.7

doi <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-172-184>

ОЧИСТКА МИНЕРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ ПОСРЕДСТВОМ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

**Татьяна Сергеевна Выборнова, Галина Владимировна Власова,
Юрий Тимофеевич Пименов**

**Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия**

Автор, ответственный за переписку:

Галина Владимировна Власова, xtng_vlasova@mail.ru

Аннотация. В современном мире идет активное развитие и глобальное внедрение энергосберегающих технологий, задача которых заключается в минимизации негативного антропогенного влияния на окружающую среду. Массивное воздействие, нарушающее экологический баланс Земли, оказывает повсеместное использование продуктов переработки углеводородного сырья. Именно по этой причине рациональное использование топливно-энергетических ресурсов является приоритетным направлением развития. В связи с этим, оптимизация процесса переработки отработанных синтетических и минеральных масел – актуальная задача.

В работе показана возможность применения волнового воздействия на предварительном этапе очистки отработанных нефтяных масел. Представлены объекты и методы, использованные для исследования. Приведены результаты исследований, на

основании которых были выявлены условия проведения коагуляции, при которых достигается наилучший эффект от процесса, также приведены данные по влиянию постоянного магнитного поля и ультразвукового воздействия на степень очистки отработанных масел от механических примесей.

Ключевые слова: переработка масел, магнитная обработка, ультразвуковое воздействие, коагуляция, механические примеси

Для цитирования: Выборнова Т. С., Власова Г. В., Пименов Ю. Т. Очистка минеральных и синтетических моторных масел от механических примесей посредством физических воздействий // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2023. № 2. С. 172–184. <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-172-184>.

Original article

PURIFICATION OF MINERAL AND SYNTHETIC MOTOR OILS FROM MECHANICAL IMPURITIES THROUGH PHYSICAL EFFECTS

Tatyana S. Vybornova, Galina V. Vlasova, Yury T. Pimenov

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Corresponding author:

Galina V. Vlasova, xtng_vlasova@mail.ru

Abstract. In a timely world, there is an active development and global implementation of energy-saving technologies, the task of which is to minimize the negative anthropogenic impact on the environment. A massive impact that disrupts the ecological balance of the Earth is exerted by the widespread use of processed hydrocarbon raw materials. It is for this reason that the rational use of fuel and energy resources is a priority for development. In this regard, optimization of the processing of used synthetic and mineral oils is an urgent task.

The paper shows the possibility of using wave action at the preliminary stage of purification of waste petroleum oils. The objects and methods used for the study are presented. The results of studies are presented, on the basis of which the conditions for coagulation were identified, under which the best effect of the process is achieved, data are also given on the influence of a constant magnetic field and ultrasonic exposure on the degree of purification of used oils from mechanical impurities.

Keywords: oil processing, magnetic treatment, ultrasonic treatment, coagulation, mechanical impurities

For citation: Vybornova T. S., Vlasova G. V., Pimenov Yu. T. Ochistka mineral'nykh i sinteticheskikh motornykh masel ot mekhanicheskikh primesey posredstvom fizicheskikh vozdeystviy [Purification of Mineral and Synthetic Motor Oils from Mechanical Impurities through Physical Effects]. *Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo» – Network Journal «Oil and Gas Business»*, 2023, No. 2, pp. 172–184 [in Russian]. <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-172-184>.

Вопрос переработки и утилизации отработанных нефтяных масел и отходов, образующихся в процессе их эксплуатации, остро стоит не только в России, но и во всём мире [1–5].

Отработанные смазочные материалы значительно загрязняют биосферу, так как по токсичности относятся к 4-му классу опасности [6].

В нашей стране практически не развита система сбора и утилизации отработанных масел. Важными факторами, препятствующими росту рынка переработки отработанного масла в России, являются:

- законодательные несовершенства в сфере обращения с отходами;
- высокая стоимость или полное отсутствие возможности приобретения импортного оборудования для переработки отработанного масла;
- отсутствие стимуляции предприятий, специализирующихся на переработке отработанных масел.

Согласно расчетам аналитиков, среднегодовой объем образования отработанного масла в РФ держится на уровне 771,0 тыс. т и из них всего лишь 100–120 тыс. т подлежат переработке [7]. Исходя из приведенной статистики, более 70 % отработанного масла служит источником загрязнения окружающей среды, а не ценным углеводородным сырьём для получения базовых нефтяных масел.

На сегодняшний день существует два основных варианта утилизации отработанных масел: топливный и масляный (рисунок 1).

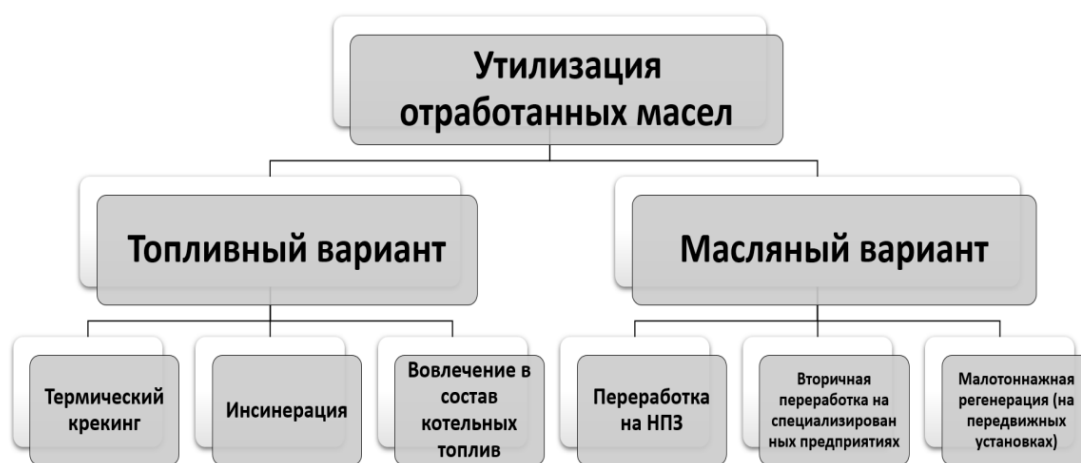


Рисунок 1. Классификация способов утилизации отработанных масел

Figure 1. Classification of waste oil disposal methods

По топливному варианту возможно получение компонентов котельных топлив и топливных фракций в процессе термического крекинга, прямого сжигания, а также для полной утилизации отработанного масла применяется инсинерация – сжигание при высоких температурах, от 800–до 1300 °С. С экономической точки зрения данный метод требует меньше всего затрат, однако вред, наносимый при сжигании отработанного масла окружающей среде, колоссальный.

При переработке по масляному варианту целью является восстановление свойств исходного продукта или производство базового масла в качестве основы для нового смазочного материала. Данный вариант переработки масла является приоритетным как с экономической, так и с экологической точки зрения [8].

В свою очередь, любой топливный вариант переработки масла включает в себя: предварительную очистку, основной этап очистки и этап доочистки. Каждый из этапов очистки оказывает существенное влияние на качество регенерируемой продукции.

Наличие в масле механических примесей органической и неорганической природы является одним из основных показателей «старения» масла. При переработке масла вывод основной массы механических примесей происходит на предварительном этапе очистки. Крупные частицы загрязнений удаляются из перерабатываемого масла при помощи фильтрации, а для коллоидных и тонкодисперсных частиц эффективным методом удаления является коагуляция.

Процесс коагуляционной очистки заключается во введении в отработанное масло коагулянта. В результате химического воздействия происходит дестабилизация эмульсионно-суспензионной коллоидной системы, что приводит к слипанию и осаждению нежелательных компонентов (частиц износа, сработанных присадок, продуктов окисления и др.) и коалесценции капель эмульсии дисперсной фазы – воды. Продуктами коагуляции являются: целевой продукт – коагулят, побочный продукт – шламовый или водошламовый осадок [8].

Реагент, используемый в качестве коагулянта, его количество, время контакта с отработанным маслом, температурный режим реакции и время отстаивания – все это ключевые критерии, влияющие на качество процесса коагуляции.

В данной статье авторы уделили внимание вопросу очистки отработанных масел различной природы от механических примесей физическими методами – волновыми воздействиями, коагуляцией и их комбинациями.

В качестве объектов исследования использовались отработанное минеральное масло (ОММ) и отработанное синтетическое масло (ОСМ). В качестве фильтрующего материала использовали фильтр с размером пор 0,8 мкм.

На первоначальном этапе был произведен анализ и сопоставление физико-химических свойств исходного и отработанного образцов масел, результаты чего представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Характеристики минерального масла (срок эксплуатации – 2000 ч)

Table 1. Characteristics of mineral oil (service life – 2000 h)

Показатели	Значения	
	исходный	отработанный
Плотность при 20 °С, кг/м ³	853,0	860,0
Кинематическая вязкость при 50 °С, мм ² /с	8,4	10,2
Цвет, ед. ЦНТ	2,5	8,0
Показатель преломления	1,315	1,469

Таблица 2. Характеристики синтетического масла (срок эксплуатации – 3000 ч)

Table 2. Characteristics of synthetic oil (service life – 3000 h)

Показатели	Значения	
	исходный	отработанный
Плотность при 15 °С, кг/м ³	848	863
Кинематическая вязкость при 50 °С, мм ² /с	51,7	46,1
Цвет, ед. ЦНТ	2,5	8,0
Показатель преломления	1,661	1,673

Из представленных данных видно, что в процессе эксплуатации изменяются все показатели качества как минеральных, так и синтетических масел.

На втором этапе экспериментально были определены условия, при которых процесс коагуляции проходил наиболее эффективно. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблицах 3–5. В качестве критериев оценки эффективности были взяты такие показатели, как плотность и цвет масла, которые определялись стандартными методами.

Таблица 3. Зависимость свойств отработанных масел от концентрации коагулянта

Table 3. Dependence of the properties of used oils on the concentration of the coagulant

Коагулянт	Концентрация коагулянта в исходном отработанном масле, % об.	Показатели качества очищенного масла			
		Плотность, кг/м ³		Цвет, ед. ЦНТ	
		ОММ	ОСМ	ОММ	ОСМ
Триэтанол-амин	4	855	859	7	7
Изопропиловый спирт	2				
Триэтанол-амин	6	850	855	7	7
Изопропиловый спирт	6				
Триэтанол-амин	4	854	857	7	7
Изопропиловый спирт	6				

Таблица 4. Зависимость свойств отработанных масел от времени отстаивания

Table 4. Dependence of the properties of used oils on the settling time

Время отстаивания, ч	Показатели качества очищенного масла			
	Плотность, кг/м ³		Цвет, ед. ЦНТ	
	ОММ	ОСМ	ОММ	ОСМ
6	856	858	7	7
12	854	856	7	7
24	850	855	7	7

Таблица 5. Зависимость свойств отработанных масел от температуры коагуляции

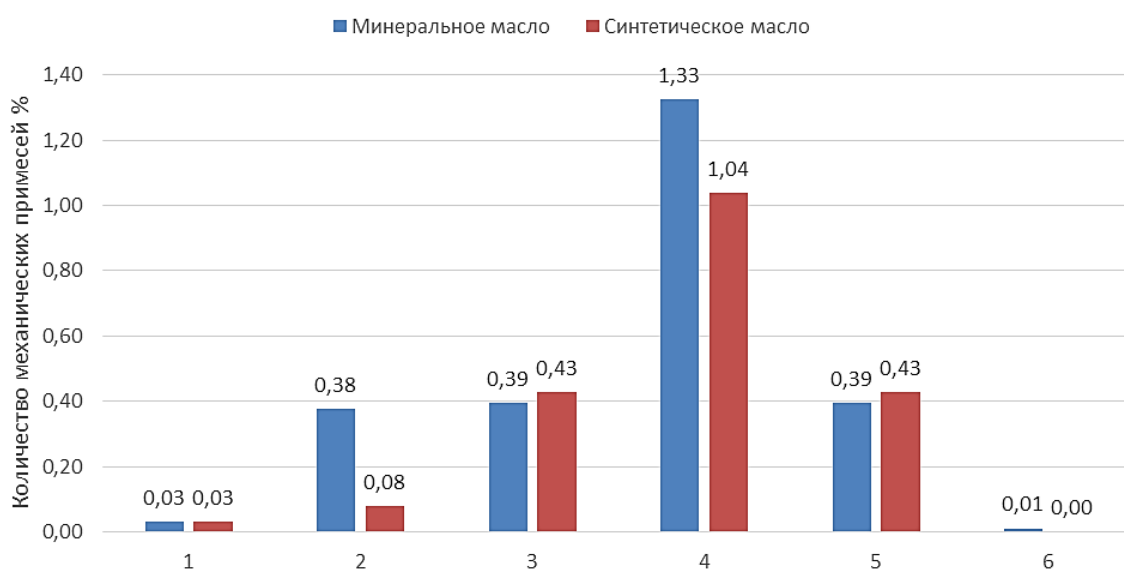
Table 5. Dependence of used oils properties on coagulation temperature

Температура процесса, °С	Показатели качества очищенного масла			
	Плотность, кг/м ³		Цвет, ед. ЦНТ	
	ОММ	ОСМ	ОММ	ОСМ
70	861	859	7	8
90	859	856	7	7
110	851	855	7	7

Из приведенных данных можно заключить, что лучшие значения плотности (соответствующие плотности исходного масла) достигнуты при обработке отработанных масел смесью 6 % об. триэаноламина и 6 % об. изопропилового спирта в расчете на исходное сырье, при температуре процесса 110 °С и последующем отстаиванием в течение 24 ч.

На третьем этапе было определено влияние ультразвуковых волн и магнитного поля на процесс удаления механических примесей из отработанных масел в комбинации с коагуляцией и без неё. Для исследования влияния магнитной обработки на физико-химические свойства отработанных масел была собрана проточная лабораторная

установка. Выбор параметров магнитной обработки был сделан на основании ранее проведенных исследований [9]. В качестве ультразвукового излучателя использовали устройство с частотой 50 кГц, расположенное внутри емкости, через которую проходил поток исследуемого сырья. На рисунке 2 представлена зависимость количества выделенных механических примесей из отработанных масел различной природы от вариантов обработки.



1 – без физического воздействия, 2 – ультразвуковое воздействие (частота колебаний 50 кГц), 3 – коагуляция при выбранных параметрах на втором этапе исследований, 4 – комбинированное воздействие (ультразвук + коагуляция), 5 – магнитная обработка (индукция 0,3 Тл), 6 – комбинированная обработка (магнитное поле + коагуляция)

1 - without physical impact, 2 - ultrasonic impact (oscillation frequency 50 kHz), 3 - coagulation with selected parameters at the second stage of research, 4 - combined impact (ultrasound + coagulation), 5 - magnetic treatment (0.3 T induction), 6 - combined treatment (magnetic field + coagulation)

Рисунок 2. Зависимость количества механических примесей от варианта обработки отработанных масел

Figure 2. Dependence of the amount of mechanical impurities on the used oil treatment option

Из диаграммы (рисунок 2) видно, что воздействие ультразвуковых волн способно заменить процесс коагуляции для выведения механических примесей из отработанных минеральных масел, но не демонстрирует тех же показателей на отработанных синтетических маслах. Выход механических примесей из синтетического масла в 35 раз выше, чем без физического воздействия, а из минерального масла – в 44 раза выше.

Магнитная обработка препятствует выходу механических примесей как единичный процесс, так и в комплексе с коагуляцией. Можно предположить, что под воздействием магнитного поля частицы дисперсной фазы способны, изменяя свое пространственное положение, создавать кластерную структуру нефтяной дисперсной системы.

Вывод

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что очистку отработанных масел различной природы от механических примесей целесообразнее проводить при комбинированном воздействии ультразвука и коагуляции при следующих наиболее эффективных параметрах: частота ультразвуковых колебаний – 50 кГц, количество реагента в процессе коагуляции 6 % об. триэтаноламина и 6 % об. изопропилового спирта в расчете на исходное сырье, при температуре процесса 110 °С и последующим отстаиванием в течение 24 ч.

Список источников

1. Тарасов В.В. Экологические аспекты необходимости регенерации отработанных смазочных материалов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2010. С. 294-307.
2. Долгосурэн М.М., Жаров С.П. Ресурсосберегающие технологии при использовании смазочных материалов на автомобильном транспорте // Вестник Курганского государственного университета. 2017. № 2 (45). С. 74-76. EDN: YLFYMX.

3. Прохоров В.Ю. Утилизация и вторичное использование отработанных смазочных материалов транспортных и транспортно-технологических машин // НиКа. 2017. С. 235-238
4. Маколова Л.В. Проблема снижения негативного воздействия транспортной сферы на окружающую среду на основе функционирования механизма избавления от отработанных масел // ИВД. 2013. № 3 (26). С. 6-22.
5. Разина Г.Н., Цеков О.О., Ушин Н.С. Плазмохимическая переработка отработанных смазочных материалов в свете правительственного проекта положения «о порядке организации деятельности по сбору и переработки отработанных смазочных материалов, масел и жидкостей» // Успехи в химии и химической технологии. 2014. № 4 (153). С. 71-75.
6. Карика Н.А. Эколого-биохимическая оценка состояния загрязненных отработанными автомобильными моторными маслами почв // Вестник ЮГУ. 2014. №3 (34). С. 41-47. EDN: TSBPLP.
7. Анализ рынка масла отработанного в России // Discovery Research Group. 2022 175 с. URL: <https://drgroup.ru/Analiz-rynka-masla-otrabotannogo-v-Rossii.html?ysclid=lakx6l5os7776866345> (дата обращения: 15.01.2023)
8. Дорогочинская В.А., Станьковский Л., Молоканов А.А., Тонконогов Б.П. Технология переработки отработанных масел. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. 157 с.
9. Выборнова Т.С., Власова Г.В., Теличкина Э.Р. Анализ воздействия магнитного поля на отработанные нефтяные масла с целью их регенерации // Технологии нефти и газа. 2021. № 5 (136). С. 23-26. DOI: 10.32935/1815-2600-2021-136-5-23-26. EDN: ABSHVQ.

References

1. Tarasov V.V. Ekologicheskie aspekty neobkhodimosti regeneratsii otrabotannykh smazochnykh materialov [Environmental Aspects of the Need for Regeneration of Used Lubricants]. *Nauchnye trudy Dal'rybvtuza – Scientific works of Dalrybvtuz*, 2010, pp. 294-307. [in Russian].
2. Dolgorsuren M.M., Zharov S.P. Resursosberegayushchie tekhnologii pri ispol'zovanii smazochnykh materialov na avtomobil'nom transporte [Resource-Saving Technology Using Lubricants in Motor Transport]. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Kurgan State University. Series: Technical Sciences*, 2017, No. 2 (45), pp. 74-76. EDN: YLFYMX. [in Russian].

3. Prokhorov V.Yu. Utilizatsiya i vtorichnoe ispol'zovanie otrabotannykh smazochnykh materialov transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin [Utilization and Recycling of Used Lubricants of Transport and Transport-Technological Machines]. NiKa –Proceedings of the International Symposium «Reliability and Quality», 2017, pp. 235-238. [in Russian].

4. Makolova L.V. Problema snizheniya negativnogo vozdeistviya transportnoi sfery na okruzhayushchuyu sredu na osnove funktsionirovaniya mekhanizma izbavleniya ot otrabotannykh masel [The Problem of Reducing the Negative Impact of the Transport Sector on the Environment Based on the Functioning of the Mechanism of Disposal of Waste Oils]. IVD – IVD, 2013, No. 3 (26), pp. 6-22. [in Russian].

5. Razina G.N., Tsekov O.O., Ushin N.S. Plazmokhimicheskaya pererabotka otrabotannykh smazochnykh materialov v svete pravitel'stvennogo proekta polozheniya «o poriyadke organizatsii deyatel'nosti po sboru i pererabotki otrabotannykh smazochnykh materialov, masel i zhidkostei» [Plasma-Chemical Processing of Used Lubricants in the Light of the Government Draft Regulation «on the Procedure for Organizing Activities for the Collection and Processing of Used Lubricants, Oils and Liquids»]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii – Success in Chemistry and Chemical Technology*, 2014, No. 4 (153), pp. 71-75. [in Russian].

6. Karika N.A. Ekologo-biokhimicheskaya otsenka sostoyaniya zagryaznennykh otrabotannymi avtomobil'nymi motornymi maslami pochv [Ecological and Biochemical Assessment of Contaminated Waste Automotive Engine Oil Soils]. *Vestnik YuGU – Yugra State University Bulletin*, 2014, No. 3 (34), pp. 41-47. EDN: TSBPLP. [in Russian].

7. Analiz rynka masla otrabotannogo v Rossii [Analysis of the Used oil Market in Russia]. *Discovery Research Group*. 2022 175 p. Available at: <https://drgroup.ru/Analiz-rynka-masla-otrabotannogo-v-Rossii.html?ysclid=lakx6l5os7776866345> (accessed 15.01.2023). [in Russian].

8. Dorogochinskaya V.A., Stankovskii L., Molokanov A.A., Tonkonogov B.P. *Tekhnologiya pererabotki otrabotannykh masel* [Waste Oil Processing Technology]. Moscow, Izdatel'skii tsentr RGU nefti i gaza (NIU) imeni I.M. Gubkina Publ., 2019. 157 p. [in Russian].

9. Vybornova T.S., Vlasova G.V., Telichkina E.R. Analiz vozdeistviya magnitnogo polya na otrabotannye neftyanye masla s tsel'yu ikh regeneratsii [Analysis of the Effect of a Magnetic Field on Spent Petroleum Oils for Their Regeneration]. *Tekhnologii nefti i gaza – Oil and Gas Technologies*, 2021, No. 5 (136), pp. 23-26. DOI: 10.32935/1815-2600-2021-136-5-23-26. EDN: ABSHVQ. [in Russian].

Информация об авторах

Information about the authors

Выборнова Татьяна Сергеевна, старший преподаватель кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

Tatyana S. Vybornova, Senior Lecturer of Development and Operation of Oil and Gas Fields Department, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

tavyb@bk.ru

Власова Галина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Химическая технология переработки нефти и газа», Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

Galina V. Vlasova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of Chemical Technology of Oil and Gas Department, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

xtng_vlasova@mail.ru

Пименов Юрий Тимофеевич, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры «Химия», Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

Yury T. Pimenov, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of Chemistry Department, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

post@astu.org

Статья поступила в редакцию 06.02.2023; одобрена после рецензирования 20.02.2023; принята к публикации 15.03.2023.

The article was submitted 06.02.2023; approved after reviewing 20.02.2023; accepted for publication 15.03.2023.