

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ВОДА – НЕОНОЛ АФ 9-6 – СУЛЬФАТ НАТРИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННОГО ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА

В.И. Жолнеркевич, А.О. Шрубок

Вероника Игоревна Жолнеркевич (ORCID 0000-0003-4525-9617)*, Александра Олеговна Шрубок (ORCID 0000-0002-5950-2756)

Кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, Минск, Республика Беларусь, 220006

E-mail: zholnerkevichv@mail.ru*, shrubok@belstu.by

Рассмотрена экологическая проблема образования и накопления отработанных масел. Показано, что перспективным направлением регенерации отработанных масел являются экстракционные процессы, в частности, направление «зеленой химии» – экстракция без органического растворителя в присутствии поверхностно-активного вещества. Изучена возможность применения системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия для очистки отработанного масла. Показана зависимость изменения выхода образующегося осадка в процессе очистки отработанного масла от температуры процесса. Исследовано поведение системы в области уплотнения мицелл при температурах 40, 55 и 60 °С. Установлено, что оптимальная температура очистки отработанного масла составляет 55 °С вне зависимости от концентрации применяемых реагентов. Исследовано влияние соотношения компонентов системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия на процесс очистки отработанного масла при оптимальной температуре процесса. Показано, что оптимальный состав системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия для очистки отработанного масла содержит 80 мас.% воды, 15 мас.% неанола и 5 мас.% сульфата натрия, что подтверждается наибольшим выходом осадка (44 мас.%). Изучено влияние соотношения компонентов системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия на число загрязняющих частиц в очищенных маслах. Установлено, что наибольшее снижение числа загрязняющих частиц (в 4,5 раза по сравнению с отработанным маслом до очистки) наблюдается в случае применения системы, содержащей 80 мас.% воды, 15 мас.% неанола АФ 9-6 и 5 мас.% сульфата натрия.

Ключевые слова: полусинтетическое отработанное масло, неонол АФ 9-6, сульфат натрия

APPLICATION OF THE WATER – NEONOL AF 9-6 – SODIUM SULFATE SYSTEM FOR CLEANING USED SEMI-SYNTHETIC ENGINE OIL

V.I. Zholnerkevich, A.O. Shrubok

Veronika I. Zholnerkevich (ORCID 0000-0003-4525-9617)*, Alexandra O. Shrubok (ORCID 0000-0002-5950-2756)

Department of Oil and Gas Processing and Petrochemistry, Belarusian State Technological University, Sverdlova st., 13a, Minsk, 220006, Republic of Belarus

E-mail: zholnerkevichv@mail.ru*, shrubok@belstu.by

The ecological problem of formation and accumulation of waste oils is considered. It has been shown that extraction processes are a promising direction for the regeneration of used oils, in particular, the direction of "green chemistry" – extraction without an organic solvent in the presence of a surfactant. The possibility of using the water – neonol AF 9-6 – sodium sulfate system for waste oil purification has been studied. The dependence of the change in the output of the formed sludge during the purification of waste oil on the temperature of the process is shown. The behavior of the system in the area of micelle densification at temperatures of 40, 55, and 60 °C. has

been studied. It has been established that the optimal temperature for cleaning waste oil is 55 °C, regardless of the concentration of the reagents used. The effect of the ratio of the components of the water – neonol AF 9-6 – sodium sulfate system on the process of waste oil purification at an optimal process temperature has been studied. It is shown that the optimal composition of the water – neonol AF 9-6 – sodium sulfate system for waste oil purification contains 80 wt.% water, 15 wt.% neonol and 5 wt.% of sodium sulfate, which is confirmed by the highest sediment yield (44% by weight). The effect of the ratio of the components of the water – neonol AF 9-6 – sodium sulfate system on the number of polluting particles in purified oils has been studied. It was found that the greatest reduction in the number of polluting particles (5.5 times compared with the spent oil before cleaning) is observed in the case of using a system containing 80% by weight of water, 15% by weight.% neonol AF 9-6 and 5 wt.% sodium sulfate.

Keywords: semi-synthetic waste oil, neonol AF 9-6, sodium sulfate

Для цитирования:

Жолнеркевич В.И., Шрубок А.О. Применение системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия для очистки отработанного полусинтетического моторного масла. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2026. Т. 69. Вып. 3. С. 57–63. DOI: 10.6060/ivkkt.20266903.6664.

For citation:

Zholnerkevich V.I., Shrubok A.O. Application of the water – neonol AF 9-6 – sodium sulfate system for cleaning used semi-synthetic engine oil. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2026. V. 69. N 3. P. 57–63. DOI: 10.6060/ivkkt.20266903.6664.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире в условиях развития логистических систем автомобильный транспорт используется повсеместно и является неотъемлемой частью повседневной жизни человека. Эксплуатация автомобилей предполагает их периодическое техническое обслуживание, в результате которого образуются различные виды нефтяных отходов, большую часть из которых составляют отработанные масла (60%) [1]. В большинстве стран отработанные масла относят к категории опасных отходов, сбор и утилизация которых регулируется законодательством и экологическими стандартами [2]. Однако ввиду сложности и дороговизны переработки отработанных масел в большинстве случаев они не регенерируются, а утилизируются сжиганием или захоронением, при этом загрязняют почву, воду и атмосферный воздух, создавая экологически неблагоприятные ситуации. В состав отработанных масел входит до 40% различных загрязнителей, образующиеся в процессе эксплуатации масла под действием высоких температур, давления и кислорода воздуха, попадания примесей топлива, воды, частиц песка и частиц металла от износа деталей механизма [3]. Указанные загрязнители образуют с маслом сложную эмульсионно-суспензионную коллоидную систему высокой стабильности, что является основной проблемой переработки отработанных масел. В связи с этим поиск технологически легких и экономически выгодных

способов переработки отработанных масел с получением продуктов высокой добавочной стоимости становится первостепенной задачей.

Одним из перспективных направлений очистки отработанных масел является экстракция. Этот метод пригоден для удаления органических и неорганических веществ, не требует больших временных затрат и имеет простое техническое исполнение. Распространение получили экстракционные методы с использованием в качестве экстрагента органических растворителей. Стоит отметить, что предлагаемые системы для процесса очистки отработанных масел в основном изучены для минеральных масел, доля которых составляет 5% по оценке АВТОСТАТ [4] и не применимы для полусинтетических и синтетических масел, а отсутствие отдельного сбора отработанных масел приводит к накоплению отходов, состоящих из смеси минеральных и синтетических масел, что делает невозможным их применение. Кроме того, к недостаткам такого процесса можно отнести использование большого количества органических растворителей, которые в большинстве случаев являются токсичными [5]. Для снижения токсичности процесса предложено разрабатывать малотоксичные экстракционные органические реагенты или использовать специфические реагенты, например, ионные жидкости [6]. Стоит отметить перспективное направление «зеленой химии»: экстракция без органического растворителя в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ) [7].

Среди вариантов такой экстракции выделяют мицеллярную экстракцию за счет выделения мицелл ПАВ в самостоятельную фазу при нагревании выше температуры точки помутнения и гель-экстракцию за счет гелеобразования при введении неорганических солей [8-10]. В качестве ПАВ могут применяться неионогенные (оксиэтилированные алифатические спирты, оксиэтилированные алкил-фенолы, оксиэтилированные амиды жирных кислот, сложные эфиры полиэтиленгликоля, оксиэтилированные сложные эфиры сорбитана), катионные (оксиэтилированные первичные амины) и анионные (алкилэтотокисульфаты, алкилэтотокискарбоксилаты, алкилэтотокисфосфаты) [5, 11]. Наиболее распространенными ПАВ в химической промышленности являются неонолы с различным содержанием эпоксицированных групп [12-15].

В состав отработанных масел входят сработанные присадки (5-13%), смолисто-асфальтеновые вещества и продукты окисления углеводородов (до 5%), механические примеси и частички абразивного износа (до 0,5%), вода (до 40%), а также топливная фракция (до 3%) [16]. Известно, что система вода – поверхностно-активное вещество – неорганическая соль используется для удаления полициклических ароматических углеводородов [17], фенолов [18], ионов металлов [19, 20], которые в значительной степени присутствуют в отработанном масле. Поскольку отработанное масло характеризуется устойчивой коллоидной системой для его разрушения необходимо использовать ПАВ. При использовании системы вода – поверхностно-активное вещество – неорганическая соль происходит перераспределение компонентов между дисперсной средой и дисперсионной фазой, коалесценция и осаждение частиц загрязнений [21].

Цель работы – установление возможности применения системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия для очистки полусинтетического отработанного масла и определение оптимальных условий процесса очистки.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве сырья использовали отработанное полусинтетическое моторное масло марки Mannol Diesel Extra 10W-40, которое по своему составу наиболее приближено к составу образующихся нефтяных отходов – смеси отработанных масел. Для сопоставительной оценки исследовалось это же масло до эксплуатации, т.е. чистое масло.

В качестве поверхностно-активного вещества использовали оксиэтилированный нонил-

фенол производства ОАО «Нижекамскнефтехим» марки АФ 9-6 структурной формулой $C_9H_{19}C_6H_4(OCH_2CH_2)_9OH$. Данное неионогенное ПАВ зарекомендовало себя в качестве деэмульгатора, препятствующего стабилизации водонефтяных эмульсий. Это – доступный биоразлагаемый реактив, относящийся к третьему классу опасности. В качестве неорганической соли использовали сульфат натрия, как наиболее эффективный высаливатель [10].

Ранее было установлено [22], что система вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия образует гель-структуру при соотношении неонол АФ 9-6 : сульфат натрия равном 3 : 1 по массе в интервале температур 55-60 °С. Поскольку данная система ранее не использовалась для очистки отработанных масел, для достоверности варьировали соотношение неонол АФ 9-6 и сульфата натрия в системе, при этом суммарное содержание в масле составляло 2 мас.%. Содержание воды во всех случаях было постоянно и составляло 8 мас.% на загрузку масла. Соотношение компонентов системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия представлено в табл. 1.

Таблица 1

Соотношение компонентов системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия для очистки отработанного масла, мас.%

Table 1. The ratio of components of the water – neonol AF 9-6 – sodium sulfate system for waste oil purification, wt.%

Показатели	№ системы			
	1	2	3	4
Компонент, мас. %:				
-неонол АФ 9-6	0	10	15	20
-сульфат натрия	20	10	5	0
-вода	80	80	80	80
Расход на сырье, мас. %	10			

Очистку отработанного масла осуществляли следующим способом: в трехгорлую колбу с обратным холодильником помещали отработанное масло и нагревали до заданной температуры (40, 55, 60 °С), после чего вводили водный раствор сульфата натрия и выдерживали смесь в течение 50 мин при перемешивании. По истечении времени выдержки в систему вводили неонол АФ 9-6 перемешивали в течение 10 мин. После отстаивания (продолжительность – 24 ч) образовавшийся осадок фильтровали через фильтр марки «Синяя лента», а очищенное масло анализировали. Эффективность очистки оценивали по выходу образующегося осадка, физико-химическим показателям и распределению частиц в очищенных маслах.

Распределение частиц в очищенных маслах определяли с помощью оптического микроскопа Микромед 3 ЛЮМ (ГОСТ ИСО 4407). Анализируемый нефтепродукт разбавляли гексаном в соотношении 1 : 20 по массе и фильтровали, в качестве фильтрующего элемента использовали мембранный фильтр (Filter-Bio, нейлон) с размером пор 0,45 мкм, после чего рассматривали мембранный фильтр при увеличении 10, 40 и 60 раз в проходящем свете, определяли число и размер частиц. Физико-химические показатели определяли по стандартным методикам: плотность – согласно ГОСТ 3900-2022, кинематическую вязкость – согласно ГОСТ 33-2016, содержание воды – по ГОСТ 2477-2014 содержание серы – по ГОСТ Р 51947-2002, содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) – согласно ГОСТ Р 55394-2013.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор температуры процесса очистки основывался на ранее изученных фазовых диаграммах системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия [19]. Было установлено, что у данной системы в зависимости от температуры наблюдаются следующие области: область отдельных мицелл, область сворачивания мицелл, область гель-структуры и область расслаивания. Для очистки отработанных масел интерес представляет область гель-структуры (55 °С). Для достоверности результатов очистку дополнительно проводили и в других областях, т.е. в области сворачивания мицелл (40 °С) и области расслаивания (60 °С).

Эффективность очистки отработанного масла оценивалась по выходу образующегося осадка, представляющего собой смесь механических примесей, полициклических ароматических углеводородов и тяжелой масляной фракции (рис. 1).

Установлено, что наибольшее количество осадка образуется в случае применения системы

№ 3, независимо от температуры проведения процесса (рис. 1). При температуре процесса очистки 55 °С независимо от концентрации используемых реагентов характерно сворачивание и уплотнение сложных структурных мицелл ПАВ, вследствие чего вероятность столкновения частиц загрязнений возрастает, и они образуют крупные агломераты (рис. 2 б) и, как следствие, наблюдается увеличение выхода осадка. Наибольший выход осадка наблюдается в случае применения системы № 3 при 55 °С. Это связано с тем, что в интервале температур 55-60 °С наблюдается резкий скачок вязкости системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия в результате уплотнения мицелл и образования гель-структуры [22], что приводит к увеличению вероятности столкновения частиц и увеличению выхода осадка. Установлено [22], что при температуре 60 °С система вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия расслаивается, т.к. происходит дегидратация молекул ПАВ [10], что приводит к снижению выхода осадка. Эти данные коррелируют с фазовыми диаграммами, установленными ранее [22].

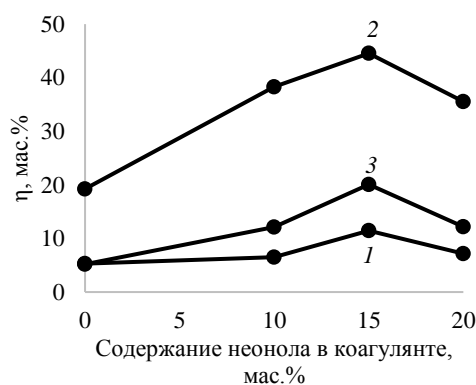
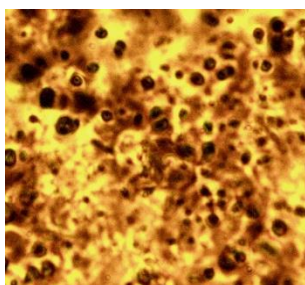
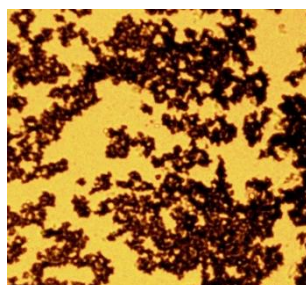


Рис. 1. Зависимость выхода осадка от концентрации неонла АФ 9-6 в коагулянте при температурах очистки: 1) 40 °С; 2) 55 °С; 3) 60 °С

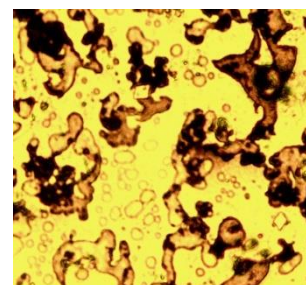
Fig. 1. Dependence of sediment yield on the concentration of neonol AF 9-6 at cleaning temperatures: 1) 40 °С; 2) 55 °С; 3) 60 °С



а



б



в

Рис. 2. Микрофотографии осадка (увеличение в 40 раз), выделенного из отработанного масла системой № 3 при температуре очистки: а) 40 °С; б) 55 °С; в) 60 °С

Fig. 2. Micrographs of sediment (magnification is 40) separated from waste oil by coagulant No. 4 at cleaning temperature: а) 40 °С; б) 55 °С; в) 60 °С

Для исходного и отработанного масла Mannol Diesel Extra 10 W-40, а также очищенных масел системой вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия с различной концентрацией неонла АФ 9-6 при оптимальной температуре 55 °С определяли распределение частиц (рис. 3).

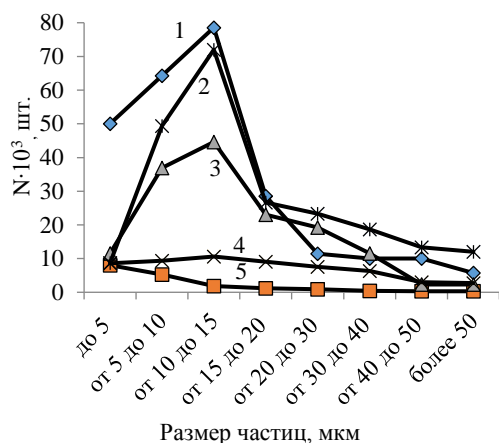


Рис 3. Распределение частиц механических примесей масел (на 100 мл образца) при температуре очистки 55 °С: 1 – отработанного масла; 2 – масло, выделенное системой № 4; 3 – масло, выделенное системой № 2; 4 – масло, выделенное системой № 3; 5 – чистое масло

Fig. 3. Distribution of particles of mechanical impurities (per 100 ml sample) in oils at a cleaning temperature of 55 °C: 1 – waste oil; 2 – oil isolated by system № 4; 3 – oil isolated by system № 2; 4 – oil isolated by system № 3; 5 – pure oil

Установлено, что в отработанном масле преобладают фракции частиц размером до 15 мкм и их количество составляет 170 тыс. После очистки отработанного масла системой 2 наблюдается снижение числа частиц в 1,7 раза по сравнению с неочищенным маслом. Увеличение содержания неонла АФ 9-6 в системе № 3 приводит к резкому снижению количества частиц в очищенном масле в 4,5 раза по сравнению с маслом до очистки. В случае очистки отработанного масла системой № 4, наблюдается увеличение содержания частиц до 224 тыс. по сравнению с маслом, выделенным системой № 3. Масло, полученное в результате очистки системой № 3, по распределению частиц наиболее приближено к чистому маслу Mannol Diesel Extra 10 W-40 (до эксплуатации).

Фильтрат, полученный в результате очистки системой № 3 при температуре 55 °С, анализировали на стандартные показатели и сравнивали с маслом этой же марки до эксплуатации (табл. 2).

В процессе очистки происходит снижение плотности отработанного масла с 866 до 855 кг/м³, что косвенно указывает на уменьшение содержания механических примесей. Кинематическая вязкость очищенного продукта снижается в два раза

по сравнению с исходным маслом. В большинстве случаев снижение вязкости обусловлено разрушением полимерных загустителей масла в процессе эксплуатации [23]. Общее содержание серы после очистки меняется незначительно по сравнению с отработанным маслом до очистки. Поскольку система, используемая для очистки, содержит в своем составе воду, для очищенного масла определяли остаточное содержание воды азеотропным методом согласно ГОСТ 2477-2014. После очистки в очищенном масле воды не обнаружено. Отсутствие воды обусловлено деэмульгирующими свойствами неонла, что свидетельствует о возможности четкого разделения масла и коагуляционной системы.

Таблица 2

Физико-химические показатели масла до и после очистки

Table 2. Physico-chemical parameters of oil before and after cleaning

Показатель	Масло:		
	Ч*	О*	Ф*
Плотность при 20 °С, ρ, кг/м ³	855	866	855
Кинематическая вязкость при 40 °С, ν, мм ² /с	79,21	–	36,55
Общее содержание серы, ppm	3115	4734	4559
Содержание воды, мас. %	–	следы	
Содержание ПАУ, мас. %	0,25	0,62	0,52

Примечание: * Ч – чистое масло, до эксплуатации;

О – отработанное масло;

Ф – очищенное масло.

Note: * Ч – clean oil, before use; О – used oil; F – purified oil

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показана возможность применения системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия для очистки полусинтетического отработанного масла. Изучено влияние температуры и соотношения компонентов системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия на процесс очистки отработанного масла. Установлено, что оптимальной температурой очистки является 55 °С. Показано, что наибольшая эффективность процесса очистки отработанного масла от загрязнений достигается при температуре 55 °С и использования системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия, содержащей 15 и 5 мас. % неонла и сульфата натрия, соответственно, что подтверждается наибольшим выходом осадка (44 мас. %) и наименьшим содержанием загрязняющих частиц в очищенном масле (уменьшается в 4,5 раза).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппова О.П., Яманина Н.С., Сыроварова А.М. Исследование возможности использования отработанных масел. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2008. Т. 51. Вып. 4. С. 88-91.
2. Гречищева Н.Ю., Дмитриева Е.Д., Стародубцева К.А., Заворотный В.Л. Детоксикация отработанных синтетических моторных масел биоконпозициями на основе гуминовых кислот в воде. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2024. Т. 67. Вып. 2. С. 119-125. DOI: 10.6060/ivkkt.20246702.6895.
3. Озеренок А.А., Куликов А.Б., Фросин С.Б., Дунаев С.В., Лесин А.В. Переработка отработанного моторного масла (Обзор). *Нефтепереработка и нефтехимия. Науч.-техн. достиж. и перед. опыт*. 2023. № 1. С. 21-27.
4. Захаров С. Характеристика рынка моторных масел. *Автокомпоненты*. 2019. № 10. С. 66-69.
5. Леснов А.Е., Денисова С.А. Гель-экстракция поверхностно-активными веществами. *Вестн. Перм. ун-та. Сер. «Химия»*. 2014. № 1. С. 79-93.
6. Шильковская Д.О., Елохов А.М. Экстракционно-спектрофотометрическое определение никеля с 4-(2-пиридилазо) резорцином в системе неонол АФ 9-10 – вода. *Вестн. Перм. ун-та. Сер. «Химия»*. 2021. Т. 11. № 4. С. 223-233. DOI: 10.17072/2223-1838-2021-4-223-233.
7. Медведева И.В., Медведева О.М., Студенок А.Г., Студенок Г.А., Цейтлин Е.М. Новые композитные материалы и процессы для химических, физико-химических и биохимических технологий водоочистки. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 63. Вып. 1. С. 6-27. DOI: 10.6060/ivkkt.20236601.6538.
8. Kori S. Cloud point extraction coupled with back extraction: a green methodology in analytical chemistry. *Forensic Sci. Res.* 2021. V. 6. N 1. P. 19-33. DOI: 10.1080/20961790.2019.1643567.
9. Kojro G., Wroczynski P. Cloud point extraction in the determination of drugs in biological matrices. *J. Chromatogr. Sci.* 2020. V. 58. N 2. P. 151-162. DOI: 10.1093/chromsci/bmz064.
10. Mortada W.I. Recent developments and applications of cloud point extraction: a critical review. *Micro-chem. J.* 2020. V. 157. P. 105055. DOI: 10.1016/j.microc.2020.105055.
11. Елохов А.М. Феномен точки помутнения в растворах неионных оксизтилированных поверхностно-активных веществ и водорастворимых полимеров (обзор). I. Природа феномена. *Вестн. Перм. ун-та. Сер. «Химия»*. 2016. № 2. С. 79-91.
12. Шильковская Д.О., Денисова С.А., Елохов А.М. Изучение растворимости и экстракционной способности систем на основе смесей неонолов АФ 9-6 и АФ 9-12. *Все материалы. Энцикл. справ.* 2022. № 14. С. 30-35. DOI: 10.31044/1994-6260-2022-0-14-30-35.
13. Stankova A.V., Elokhov A.M., Kudryashova O.S., Lesnov A.E. Temperature-induced transformation of phase diagrams for water – oxyethylated nonylphenol – MgCl₂ systems. *Russ. J. Inorg. Chem.* 2020. V. 65. N 12. P. 1922-1927. DOI: 10.1134/S0036023620120177.
14. Stankova A.V., Elokhov A.M., Denisova S.A., Kudryashova O.S., Lesnov A.E. Specific features of the salting-out of oxyethylated nonylphenols using inorganic salts at 25 °C. *Russ. J. Phys. Chem. A.* 2017. V. 91. N 5. P. 880-886. DOI: 10.1134/S0036024417050247.

REFERENCES

1. Filippova O.P., Yamanina N.S., Syrovartova A.M. The study of application possibility of used oils. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchen. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2008. V. 51. N 4. P. 88-91 (in Russian).
2. Grechishcheva N.Y., Dmitrieva E.D., Starodubtseva K.A., Zavorotnyy V.L. Detoxification of used synthetic motor oils with biocompositions based on humic acids in water. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchen. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2024. V. 67. N 2. P. 119-125 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20246702.6895.
3. Ozarenko A.A., Kulikov A.B., Frosin S.B., Dunaev S.V., Lesin A.V. Recycling of used engine oil (review). *Neftpererabotka Neftekhimiya. Nauch.-Tekhn. Dostizh. Pered. Opyt*. 2023. V. 51. N 1. P. 21-27 (in Russian).
4. Zakharov S. Characteristics of the motor oil market. *Avto Komponenty*. 2019. N 10. P. 66-69 (in Russian).
5. Lesnov A.E., Denisova S.A. Surfactant gel extraction. *Vestn. Perm. Univ. Ser. Khimiya*. 2014. N 1. P. 79-93 (in Russian).
6. Shilykovskaya D.O., Elokhov A.M. Extraction-spectrophotometric determination of nickel with 4-(2-pyridylazo) resorcinol in the neonol AF 9-10 – water system. *Vestn. Perm. Univ. Ser. Khimiya*. 2021. V. 11. N 4. P. 223-233 (in Russian). DOI: 10.17072/2223-1838-2021-4-223-233.
7. Medvedeva I.V., Medvedeva O.M., Studenok A.G., Studenok G.A., Tseytlin E.M. New composite materials and processes for chemical, physico-chemical and biochemical technologies of water purification. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchen. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 1. P. 6-27 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236601.6538.
8. Kori S. Cloud point extraction coupled with back extraction: a green methodology in analytical chemistry. *Forensic Sci. Res.* 2021. V. 6. N 1. P. 19-33. DOI: 10.1080/20961790.2019.1643567.
9. Kojro G., Wroczynski P. Cloud point extraction in the determination of drugs in biological matrices. *J. Chromatogr. Sci.* 2020. V. 58. N 2. P. 151-162. DOI: 10.1093/chromsci/bmz064.
10. Mortada W.I. Recent developments and applications of cloud point extraction: a critical review. *Micro-Chem. J.* 2020. V. 157. P. 105055. DOI: 10.1016/j.microc.2020.105055.
11. Elokhov A.M. Cloud point phenomenon in oxyethylated nonionic surfactants and water-soluble polymers solutions (review). I. Nature of phenomenon. *Vestn. Perm. Univ. Ser. Khimiya*. 2016. N 2(22). P. 79-91 (in Russian).
12. Shilykovskaya D.O., Denisova S.A., Elokhov A.M. Study of solubility and extraction ability of systems based on neonol mixtures AF 9-6 and AF 9-12. *Vse Materialy. Entsikl. Sprav.* 2022. N 14. P. 30-35 (in Russian). DOI: 10.31044/1994-6260-2022-0-14-30-35.
13. Stankova A.V., Elokhov A.M., Kudryashova O.S., Lesnov A.E. Temperature-induced transformation of phase diagrams for water – oxyethylated nonylphenol – MgCl₂ systems. *Russ. J. Inorg. Chem.* 2020. V. 65. N 12. P. 1922-1927. DOI: 10.1134/S0036023620120177.
14. Stankova A.V., Elokhov A.M., Denisova S.A., Kudryashova O.S., Lesnov A.E. Specific features of the salting-out of oxyethylated nonylphenols using inorganic salts at 25 °C. *Russ. J. Phys. Chem. A.* 2017. V. 91. N 5. P. 880-886. DOI: 10.1134/S0036024417050247.

15. Stankova A.V., Elokhov A.M., Lesnov A.E. Phase and extraction equilibria in the water-ethoxylated nonylphenol-sodium sulfate system. *Russ. Chem. Bull.* 2020. V. 69. N 4. P. 671-674. DOI: 10.1007/s11172-020-2816-5.
16. Станьковски Л., Молоканов А.А., Чередниченко Р.О., Дорогочинская В.А. Коагуляция отработанных смазочных масел как способ их подготовки к вакуумной перегонке. *Мир нефтепродуктов*. 2012. № 6. С. 16-19.
17. Hung K.-C., Chen B.-H., Yu L.E. Cloud-point extraction of selected polycyclic aromatic hydrocarbons by nonionic surfactants. *Sep. Purif. Technol.* 2007. V. 57. N 1. P. 1-10. DOI: 10.1016/j.seppur.2007.03.004.
18. Архипов В.П., Архипов Р.В., Идиятуллин З.Ш. Экстракционные свойства водных растворов оксиэтилированных изонилфенолов в присутствии солей натрия с одно- и двухзарядными анионами. *Вестн. технол. ун-та*. 2017. Т. 20. № 19. С. 21-25.
19. Шильковская Д.О., Елохов А.М., Денисова С.А., Леснов А.Е. Фазовые равновесия и экстракция ионов металлов в системах на основе смесей оксиэтилированных нонилфенолов. *Изв. Акад. наук. Сер. хим.* 2023. Т. 72. № 9. С. 2036-2040.
20. Isaeva Yu.I., Elokhov A.M., Denisova S.A., Kudryashova O.S. Phase equilibria and extraction of metal ions in systems based on mixtures of alkylbenzyltrimethylammonium chloride and oxyethylated nonylphenols. *Russ. J. Phys. Chem. A*. 2020. V. 94. N 7. P. 1346-1349. DOI: 10.1134/S0036024420070158.
21. Станьковски Л., Молоканов А.А., Дорогочинская В.А., Ставицкая А.В., Тонконогов Б.П. Применение ПАВ для интенсификации процесса коагуляции при подготовке смесей отработанных масел к переработке. *Мир нефтепродуктов*. 2012. № 9. С. 30-33.
22. Жолнеркевич В.И., Шрубок А.О. Гелеобразование в водных растворах оксиэтилированных нонилфенолов. *Изв. вузов. Приклад. химия и биотехнол.* 2025. Т. 15. № 1. С. 112-118. DOI: 10.21285/achb.965.
23. Сафонов А.С., Ушаков А.И. Гришин В.В. Химмотология горюче-смазочных материалов. Санкт-Петербург: НПИКЦ. 2007. 488 с.
15. Stankova A.V., Elokhov A.M., Lesnov A.E. Phase and extraction equilibria in the water-ethoxylated nonylphenol-sodium sulfate system. *Russ. Chem. Bull.* 2020. V. 69. N 4. P. 671-674. DOI: 10.1007/s11172-020-2816-5.
16. Stankovski L., Molokanov A.A., Cherednichenko R.O., Dorogochinskaya V.A. Coagulation of used lubricants as a method of pretreatment for vacuum distillation. *Mir nefteproduktov*. 2012. N 6. P. 16-19 (in Russian).
17. Hung K.-C., Chen B.-H., Yu L.E. Cloud-point extraction of selected polycyclic aromatic hydrocarbons by nonionic surfactants. *Sep. Purif. Technol.* 2007. V. 57. N 1. P. 1-10. DOI: 10.1016/j.seppur.2007.03.004.
18. Arkhipov V.P., Arkhipov R.V., Idiyatullin Z.Sh. Extraction properties of aqueous solutions of oxyethylated isonilphenols in the presence of sodium salts with single and double charged anions. *Vest. Technol. Univer.* 2017. V. 20. N 19. P. 21-25 (in Russian).
19. Shilykovskaya D.O., Elokhov A.M., Denisova S.A., Lesnov A.E. Phase equilibria and extraction of metal ions in systems based on mixtures of oxyethylated nonylphenols. *Izv. Akad. Nauk. Ser. Khim.* 2023. V. 72. N 9. P. 2036-2040 (in Russian). DOI: 10.1007/s11172-023-3997-5.
20. Isaeva Yu.I., Elokhov A.M., Denisova S.A., Kudryashova O.S. Phase equilibria and extraction of metal ions in systems based on mixtures of alkylbenzyltrimethylammonium chloride and oxyethylated nonylphenols. *Russ. J. Phys. Chem. A*. 2020. V. 94. N 7. P. 1346-1349. DOI: 10.1134/S0036024420070158.
21. Stankovski L., Molokanov A.A., Dorogochinskaya V.A., Stavitskaya A.V., Tonkonogov B.P. The use of surfactants for the intensification of the coagulation process for preparing used oil mixtures for recycling. *Mir Nefteproduktov*. 2012. N 9. P. 30-33 (in Russian).
22. Zholnerkevich V.I., Shrubok A.O. Gelation in the aqueous solutions of oxyethylated nonylphenols. *Izv. Vuzov. Priklad. Khim. Biotechnol.* 2025. V. 15. N 1. P. 112-118 (in Russian). DOI: 10.21285/achb.965.
23. Safonov A.S., Ushakov A.I. Grishin V.V. Chemical pathology of fuels and lubricants. SPb.: NPIKTs. 2007. 488 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 18.09.2025

Принята к опубликованию 05.11.2025

Received 18.09.2025

Accepted 05.11.2025