

Дата поступления рукописи в редакцию: 16.10.2025 г.

Дата принятия рукописи в печать: 27.01.2026 г.

ПРИМЕНЕНИЕ КОАГУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВОДА – НЕОНОЛ АФ 9-6 – СУЛЬФАТ НАТРИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ОТРАБОТАННЫХ МАСЛАХ

В.И. ЖОЛНЕРКЕВИЧ, А.О. ШРУБОК, канд. техн. наук

УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Беларусь

Вести переписку по E-mail: zholnerkevichv@mail.ru

Изучен вопрос регенерации отработанных масел. Одним из перспективных направлений регенерации отработанных масел рассматривается применение коагуляционных систем на основе поверхностно-активных веществ. Показана возможность использования системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия для очистки отработанного масла. Установлена зависимость выхода очищенного масла от соотношения компонентов в системе вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия. Изучено влияние состава коагулирующей системы на структурно-групповой состав очищенных масел. Применение системы, содержащей 3% масс. неонла и 17% масс. сульфата натрия, позволяет снизить в отработанном масле долю полициклических ароматических углеводородов на 45,5%. С помощью УФ-спектроскопии определено, что компоненты коагуляционной системы отсутствуют в очищенном масле. Показано, что очищенные отработанные масла по предлагаемому способу являются ценным сырьем для производства нефтепродуктов различного назначения.

Ключевые слова: отработанное масло, коагуляционная очистка, коагулянт, полициклические ароматические углеводороды

Для цитирования: Жолнеркевич В.И., Шрубок А.О. Применение коагуляционной системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия для снижения содержания полициклических ароматических углеводородов в отработанных маслах // Нефтепереработка и нефтехимия. 2026, № 1, С. 42-48. DOI 10.65402/npnh.2026.1.008.

Основным путём перехода к ресурсосберегающим и безотходным технологиям в промышленности является рациональное использование всех видов ресурсов и снижение их потерь. Особый интерес вызывают исследования комплексной и химической переработки источников органического сырья: побочных продуктов и отходов предприятий. К таким отходам относятся отработанные масла. Они в своём составе содержат до 95 % углеводородов [1], которые после регенерации могут выступать ценным сырьём для получения различных продуктов с высокой добавочной стоимостью. Регенерированные отработанные масла применяют для различных целей: в качестве компонента базового масла [2], среды для пластичных смазок [3, 4], сырья для получения дизельного топлива [5, 6], пластификатора при модификации битума [7, 8] и эластомерных композиций [9, 10], флотационного реагента [11, 12].

Минеральные масла широко используются в качестве пластификаторов резиновых смесей. При производстве шинных резин могут вводить от 20 до 50 масс.ч. масла на 100 масс.ч. полимера [13]. В составе нефтяных масел содержатся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), являющиеся канцерогенами. Исследования показали, что в воздухе магистралей и городов содержится пыль, возникающая в результате истирания автомобиль-

ных шин [14,15]. Такая пыль имеет размер меньше 10 мкм [16], из-за чего она легко проникает в лёгкие человека, вызывая аллергические реакции и онкологические заболевания. Согласно директиве № 2005/69/ЕС для снижения вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека суммарное содержание ПАУ в маслах-пластификаторах для резиновых смесей не должно превышать 3% масс. по методу IP 346. В отработанных маслах содержится до 13% ПАУ [17], удалив которые, можно получить продукт, пригодный для использования в качестве пластификатора без необходимости полного восстановления первоначальных эксплуатационных свойств отработанных масел.

Распространённым способом удаления ПАУ из масел стал процесс экстракционной очистки растворителями [18-24]. Однако такой способ очистки предполагает большой расход растворителя и последующую стадию регенерации растворителя, что удорожает процесс. Альтернативным способом снижения содержания ПАУ является применение систем, состоящих из водных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) [25,26].

В работах [27-30] показана возможность сольubilизации нафталина и пирена различными мицеллярными растворами на основе неионогенных, катионных и анионных ПАВ. Установлено, что со-

любилизирующая способность уменьшается в ряду: неионогенный > катионный > анионный ПАВ [28]. В зависимости от силы и природы взаимодействия солюбилизата с молекулами ПАВ различают несколько вариантов его локализации в мицеллах [31]. Неполарные соединения углубляются внутрь мицеллы, устраняя термодинамически невыгодные контакты углеводород – вода. При наличии полярных групп солюбилизат внедряется в поверхностный слой мицелл, ориентируясь параллельно молекулам ПАВ, обращаясь полярными группами в сторону водной фазы. При значительном преобладании гидрофильного характера солюбилизат адсорбируется на гидрофильной поверхности мицелл. Для увеличения солюбилизующих свойств ПАВ вводят различные добавки, которые влияют на вязкость и форму мицелл. Для этих целей зарекомендовали себя различные соли: сульфаты, фосфаты, хлориды, карбонаты натрия, калия, магния, алюминия [32-34].

Цель работы — установление возможности применения системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия и определение её оптимального состава для снижения содержания полициклических ароматических углеводородов в отработанных маслах.

В качестве объектов исследования были выбраны отработанное минеральное масло и продукты его очистки.

Очистку отработанного масла осуществляли следующим образом: в колбу с обратным холодильником помещали отработанное масло и нагревали до температуры 551°С, после чего вводили водный раствор сульфата натрия заданной концентрации и выдерживали в течение 50 мин при перемешивании. По истечении времени выдержки в систему вводили неонол АФ 9-6 и смесь перемешивали в течение 10 мин. В процессе коагуляционной очистки отработанного масла образуются два слоя: верхний слой представляет собой очищенное масло, нижний слой — слой, содержащий коагулирующую систему и загрязнения, выделенные из масла. После отстаивания образовавшийся нижний слой отделяли в делительной воронке от очищенного масла. Содержание неанола и сульфата натрия варьировалось от 0 до 15% масс. в коагулянте. Суммарное количество неанола АФ 9-6 и сульфата натрия в коагулянте не превышало 20% масс., а количество воды во всех случаях оставалось постоянным и составляло 80% масс. Коагуляционную очистку проводили при расходе коагулянта 10% масс. на сырьё. Соотношение компонентов коагуляционной системы представлено в табл. 1.

Отработанное и очищенные масла анализировали на содержание полициклических ароматических углеводородов по методу IP 346, который заключается в экстракции ПАУ раствором диметилсульфоксида насыщенным циклогексаном с последующей фиксацией массы выделенных ПАУ. Структурно-групповой анализ масел осуществляли расчётным

Таблица 1

Коагуляционные системы вода – неонол АФ 9-6 – сульфат натрия для очистки отработанного масла

| Характеристики | Номер системы | | | | |
|----------------------------------|---------------|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Содержание компонентов, % масс.: | | | | | |
| Неонол АФ 9-6 | 2 | 3 | 5 | 10 | 15 |
| Сульфат натрия | 18 | 17 | 15 | 10 | 5 |
| Вода | 80 | | | | |
| Расход на сырьё, % масс. | 10 | | | | |

способом согласно ASTM D 2140. Состав масла по типу углерода, приходящегося на ароматические, нафтеновые и парафиновые структуры определяется по корреляции с основными физико-химическими показателями (плотность — ГОСТ 3900, вязкость — ГОСТ 33 и показатель преломления — ГОСТ 18995.2).

На рис. 1 представлен выход очищенного масла после коагуляции.



Рис. 1. Выход очищенного масла при коагуляции различными системами

В результате очистки отработанного масла системой, содержащей 3 и 5% масс. неанола АФ 9-6 в коагулянте (системы 2 и 3), выход очищенного масла наименьший и составляет 87,6 и 87,2% масс., соответственно. В случае применения систем 4 и 5, содержащих 1,0 и 1,5% масс. неанола в коагулянте, наблюдается повышение выхода очищенного масла до 91,31 и 91,70% масс., соответственно.

В процессе очистки отработанного масла происходит перераспределение углеводов между образующимися слоями. В верхнем слое (очищенное масло) снижается содержание ароматических углеводов, что подтверждается структурно-групповым анализом очищенных масел (табл. 2).

В случае применения системы 1 и 5 для очистки отработанного масла (содержание неанола в коагулянте составляет 2 и 15% масс., соответственно), количество атомов углерода, приходящихся на ароматические структуры (C_a), составляет 10,0%, что практически соответствует маслу до очистки

Таблица 2

Характеристика очищенных масел

| Показатели | Отработанное масло | | | | | |
|--|--------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | До очистки | После очистки системой | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Количество атомов углерода в структурах, % : | | | | | | |
| нафтеновых, C_n | 37,40 | 38,10 | 42,00 | 41,60 | 40,00 | 38,80 |
| парафиновых, C_p | 52,20 | 51,90 | 50,00 | 50,20 | 51,00 | 51,20 |
| ароматических, C_a | 10,40 | 10,00 | 8,00 | 8,20 | 9,00 | 10,00 |
| C_p/C_n | 1,40 | 1,36 | 1,19 | 1,21 | 1,28 | 1,32 |
| Плотность при 20°C, кг/м ³ | 909 | 909 | 910 | 910 | 909 | 909 |
| Кинематическая вязкость при 40°C, мм ² /с | 119,87 | 112,82 | 117,75 | 124,23 | 108,17 | 106,30 |
| Показатель преломления при 20°C | 1,5001 | 1,4998 | 1,4989 | 1,4990 | 1,4991 | 1,4997 |

(10,4%). Применение коагулянта, содержащего 3 и 5% масс. неолола (системы 2 и 3), приводит к снижению показателя C_a до 8,0 и 8,2%, соответственно. В результате очистки отработанного масла помимо удаления ароматических структур уменьшается количество парафиновых структур вне зависимости от соотношения применяемых реагентов. Применение коагулянта, содержащего 3 и 5% масс. неолола, приводит к наибольшему снижению как ароматических, так и парафиновых структур. Снижение парафиновых структур, по-видимому, обусловлено особенностями строения углеводородов масла: оно состоит в основном из гибридных структур, представляющих собой парафино-нафтеновые соединения и циклопарафиновые углеводороды с длинными боковыми алифатическими цепями и циклические ароматические углеводороды с длинными или несколькими короткими боковыми цепями. При удалении ароматических структур происходит снижение содержания ароматических молекул, содержащих боковые алкильные заместители, из-за чего происходит снижение показателя C_p . Соответственно, происходит перераспределение атомов углерода, приходящих на ароматические, парафиновые и нафтеновые структуры, и наблюдается снижение показателей C_a и C_p и увеличение показателя C_n . Это подтверждается изменением отношения парафиновых структур к нафтеновым C_p/C_n (см. табл. 2). Вне зависимости от концентрации неолола в коагулянте отношение C_p/C_n снижается. Эти данные согласуются с выходом очищенного масла. В случае применения систем 2 и 3 наблюдается наименьший выход очищенного масла, но и наибольшее снижение ароматических структур. Кинематическая вязкость очищенных масел снижается по сравнению с отработанным маслом. Это связано с тем, что в процессе очистки происходит снижение содержания ароматических структур. В случае применения системы 3 наблюдается повышение вязкости до 124,23 мм²/с, что обусловлено перераспределением компонентов и увеличением содержания нафтеновых структур, обладающих наибольшей вязкостью по сравнению с парафиновыми и ароматическими структурами.

Показатель преломления очищенных масел снижается по сравнению с отработанным маслом. Это обусловлено тем, что наибольший показатель преломления характерен для углеводородов ароматического ряда, а наименьший — для парафиновых углеводородов. Таким образом, снижение показателя преломления связано с уменьшением количества ароматических структур в очищенных маслах, что согласуется с данными структурно-группового состава исследуемых масел.

Данные структурно-группового состава также подтверждаются исследованиями содержания полициклических ароматических структур, выделенных по методу IP 346 (рис. 2).



Рис. 2. Зависимость содержания ПАУ в маслах от количества неолола в коагулянте (0* — отработанное масло до очистки)

С увеличением концентрации неолола в коагулянте до 5% масс. наблюдается снижение содержания полициклических ароматических углеводородов до 2,34% масс. Дальнейшее повышение содержания неолола в коагулянте до 15% масс. приводит к увеличению содержания ПАУ до 3,71% масс.. Установлено, что в случае применения коагулянта для очистки отработанного масла, содержаще-

го 3 или 5% масс. неолола, получаемые очищенные масла соответствуют требованиям директивы № 2005/69/ЕС по количеству полициклических ароматических углеводородов, т.к. содержание ПАУ в них менее 3% масс. В целях экономии применяемых реагентов оптимальным составом выбрана система с наименьшей концентрацией неолола, т.е. система 2, содержащая 3% масс. неолола и 17% масс. сульфата натрия, которая приводит к снижению ПАУ на 45,5%.

Одним из недостатков коагуляционной очистки масел является загрязнение очищаемого масла компонентами коагулянта. Поскольку в процессе очистки используется ПАВ, которое может оставаться в очищенном масле. С помощью УФ-спектроскопии было определено остаточное содержание неолола АФ 9-6 в масле после коагуляции. На рис. 3 представлены УФ-спектры отработанного масла до и после очистки, а также УФ-спектр неолола АФ 9-6.

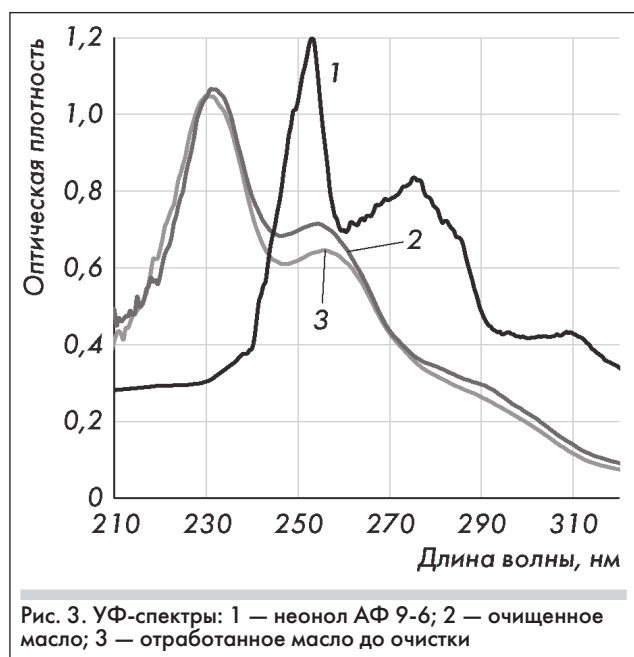


Рис. 3. УФ-спектры: 1 — неолол АФ 9-6; 2 — очищенное масло; 3 — отработанное масло до очистки

УФ-спектры отработанного и очищенных масел характеризуются наличием пиков при длинах волн 230 и 260 нм. Наличие этих пиков на спектре обусловлено поглощением парафиновых и нафтеновых структур [35]. Спектр неолола АФ 9-6 характеризуется полосами поглощения при длинах волн 253 и 275 нм. В спектре очищенного масла отсутствуют полосы поглощения, характерные для неолола АФ 9-6, что свидетельствует об отсутствии ПАВ в масле и о полном переходе неолола в процессе очистки отработанного масла в нижний слой.

Заключение

Показано, что перспективным направлением применения регенерированных отработанных масел является их использование в качестве пластификаторов к резинотехническим изделиям. Рассмотрена возможность применения системы вода – неолол АФ 9-6 – сульфат натрия для очистки отработан-

ного минерального масла от полициклических ароматических углеводородов. Установлено, что оптимальным составом системы для удаления полициклических ароматических углеводородов из минерального отработанного масла является коагулянт, содержащий неолол АФ 9-6 и сульфата натрия в количестве 3 и 17% масс., соответственно. Показано, что использование данного коагулянта позволяет снизить содержание канцерогенных соединений на 45,5%, соответственно. Определено, что в процессе очистки отработанного масла происходит снижение не только ароматических, но и парафиновых структур. В результате применения системы, содержащей 3% масс. неолола и 17% масс. сульфата натрия, наблюдается изменение структурно-группового состава масел: снижаются показатели C_a и C_n на 22 и 4%, соответственно. По УФ-спектрам очищенного масла установлено, что в процессе очистки не происходит загрязнения масла коагулирующей системой, что подтверждается отсутствием полос поглощения, характерных для неолола АФ 9-6.

Конфликт интересов

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаева А.В., Кожевников В.А., Черных В.А. Анализ потенциала использования отработанных нефтепродуктов на собственные нужды в организациях системы «Транснефть» // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2020. — Т.10. — № 1. — С. 70-83. DOI: 10.28999/2541-9595-2020-10-1-70-83.
2. Хурнова Л.М. Современные технологии утилизации отработанных моторных масел // Образование и наука в современном мире. Инновации. — 2019. — № 2(21). — С. 280-292. EDN YXSCKL.
3. Остриков В.В., Попов С.Ю., Шихалев И.Н., Дивин А.Г., Манаенков К.А. Дисперсионная среда пластичных смазок на основе отработанных масел // Наука в центральной России. — 2015. — № 2(14). — С. 43-53. EDN: TPUNMF.
4. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Balabanov V.I., Safonov V.V. Manufacturing of greases based on deep-cleaned spent mineral and synthetic motor oils. // Petroleum chemistry. 2017. Vol. 57. N. 8. P. 705-713. DOI: 10.1134/S0965544117080096.
5. Прохоров В.Ю. Утилизация и вторичное использование отработанных смазочных материалов транспортных и транспортно-технологических машин // Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество». — 2017. — Т. 2. — С. 235-238. EDN: ZDGTIN.
6. Клюкина К., Чачина С.Б., Денисова Е.П. Получение биодизеля из отработанного машинного масла // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: Материалы 14-й Международной научно-технической конференции, Омск, 12-15 марта 2024 г. Омск: Омский государственный технический университет, — 2024. — С. 158-159. EDN: AJBAOG.
7. Балабанов В.Б., Романовская А.В., Климентьева И.М. Полимерно-битумные вяжущие, пластифицированные отработанными автомобильными маслами // Вестник ИрГТУ. — 2013. — № 6 (77). — С. 72-75. EDN: QCRBTT.
8. Асад Т., Юнусов М.Ю., Умаров С.С., Сайрахмонов Р.Х. Теоретические аспекты, экспериментальные исследования эффективности применения комплексной добавки

различного функционального назначения в составе дорожных битумов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. — 2020. — № 1(49). — С. 123-128. EDN: XTSSDI.

9. Лешкевич А.В., Шашок Ж.С., Прокопчук Н.Р., Усс Е.П., Карманова О.В. Исследование совместимости пластифицирующих добавок на основе вторичного нефтехимического сырья с эластомерной матрицей // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 2019. — Т. 81, № 4(82). — С. 190-195. DOI 10.20914/2310-1202-2019-4-190-195.

10. Байсейт Ж.Г., Сакибаева С.А., Рубанов В.И. Исследование влияние продуктов очистки отработанного масла на свойства эластомерных композиций // Вестник науки Южного Казахстана. — 2020. — № 1(9). — С. 15-22. EDN: RVAJOJ.

11. Патраков Ю.Ф., Семенова С.А., Клейн М.С. Расширение сырьевой базы флотореагентов за счёт использования озонированных отработанных моторных масел // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2018. — № 1. — С.164-168. DOI 10.26730/1999-4125-2018-1-164-168.

12. Клейн М.С., Вахонина Т.Е. Условия эффективного использования отработанных минеральных масел в составе собирателей для флотации угольных шламов // Вестник Кузбасского государственного технологического университета. — 2015. — № 5. — С. 163-166. EDN: UNSGXJ.

13. Кармин Б.К., Троицкая Н.И., Гусева В.И., Маркова Л.М., Лукашевич И.П., Сусанина О.Г. Влияние природы и строения углеводородных фракций нефтяных пластификаторов на свойства маслосодержащих каучуков и резин на их основе // Пластификаторы и защитные агенты из нефтяного сырья. — 1969. — Вып. 85. — С. 35-44.

14. Мингулова И.Р. Методическое обоснование оценки количества загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду мегаполиса при истирании протекторов шин и колёсных тормозных механизмов. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2011. — № 3 (28). — С. 197-202. EDN: ONCWUX.

15. Графкина М.В., Азаров А.В., Добринский Д.Р., Тихонова М.М. Анализ негативного воздействия на элементы экосистемы в процессе пылевыведения от проезда автомобильного транспорта по дорожным покрытиям различных типов // Успехи современной науки. — 2016. — Т. 8. — № 12. — С. 142-147. EDN: XILGVZ.

16. Васильев А.Н., Гараев А.Л., Кагриев Р.С., Козловцева Е.Ю. Исследование загрязнения мелкодисперсной пылью воздуха придорожных территорий. // Инженерный вестник Дона. — 2020. — № 3 (63). — С. 40-47.

17. Озеренко А.А., Куликов А.Б., Фросин С.Б., Дунаев С.В., Лесин А.В. Переработка отработанного моторного масла (обзор) // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2023. № 1. — С. 21-27. EDN: GRDQWQ.

18. Остриков В.В., Тупотилов Н.Н., Попов С.Ю. Исследование очистки отработанных синтетических моторных масел специфическими растворителями // Наука в центральной России. — 2013. — № 5. — С. 27-30. EDN: RSZOXR.

19. Сафиуллина А.Ф., Янгирова З.З. Переработка отработанного моторного масла другим растворителем // Инженерное образование в контексте будущих промышленных революций СИНЕРГИЯ-2020: Сборник научных статей международной сетевой научно-практической конференции по инженерному образованию, Уфа, 03-04 сентября 2020 г. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2020. — С. 70-77. EDN: VCYIOX.

20. Трушкова Л.В., Пауков А.Н. Разработка методов регенерации отработанных масел на заводе моторных масел ООО «ЛЛК-Интернешнл» // Нефть и газ Западной Сибири: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвящённой 45-летию Тюменского топливно-энергетического комплекса и 80-летию Грайфера Валерия Исааковича, Тюмень, 20-21 октября 2009 г. Том 2. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2009. — С. 251-253. EDN: TCQPWP.

21. Патент RU2775171C1, 2022. Пыхалова Н.В., Нго Х.Т.Т. Способ регенерации отработанных минеральных масел, не содержащих присадок.

22. Патент RU2288946C2, 2006. Ангуло Арамбуру Х. Способ очистки отработанных масел экстракцией растворителями.

23. Kori S. Cloud point extraction coupled with back extraction: a green methodology in analytical chemistry. // Forensic Sciences Research. 2021. Vol. 6, no. 1. P. 19-33. DOI: 10.1080/20961790.2019.1643567.

24. Kojro G., Wroczynski P. Cloud point extraction in the determination of drugs in biological matrices. // Journal of Chromatographic Science. 2020. Vol. 58, no. 2. P.151-162. DOI: 10.1093/chromsci/bmz064.

25. Mortada W.I. Recent developments and applications of cloud point extraction: a critical review. // Microchemical Journal. 2020. Vol. 157. P. 105055. DOI: 10.1016/j.microc.2020.105055.

26. Hung K.-C., Chen B.-H., Yu L.E. Cloud-point extraction of selected polycyclic aromatic hydrocarbons by nonionic surfactants. // Separation and Purification Technology. 2007. Vol. 57, no. 1. P. 1-10. DOI:10.1016/j.seppur.2007.03.004.

27. Топчий И.А., Дэвард И.С., Доница К.Ю., Алферов С.В., Нечаева И.А., Купчинский А.Б., Огарков Б.Н., Петрова Ю.Ю., Антонова Е.В. Использование поверхностно-активных веществ в биодеградациии гидрофобных соединений: обзор. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. — 2022. — Том 12. — № 4. — С. 521-537. DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-4-521-537.

28. Masrat R., Maswal M., Dar Ahmad A. Competitive solubilization of naphthalene and pyrene in various micellar systems // Journal of Hazardous Materials. 2013. Vol. 244-245. P. 662-670. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.10.057.

29. Сердюк А.А., Гайнанова Г.А., Миргородская А.Б., Карпичев Е.А., Захарова Л.Я., Гаврилова Е.Л. Закономерности солюбилизации полиароматических соединений мицеллярными системами на основе катионных ПАВ. // Вестник технологического университета. — 2015. — Т. 18. — №12. — С. 15-18. EDN: UBLWEV.

30. J.-L. Li, B.-H. Chen. Solubilization of model polycyclic aromatic hydrocarbons by nonionic surfactants // Chemical Engineering Science 57 (2002) 2825-2835.

31. Толмачева Н.Г. Новый подход к использованию микроэмульсий для извлечения и концентрирования органических гидрофобных соединений с последующим хроматографическим определением: Дисс. канд. техн. наук. Москва, 2017. — 114 с.

32. Архипов В.П., Архипов Р.В., Идиятуллин З.Ш. Экстракционные свойства водных растворов оксиэтилированных изонилфенолов в присутствии солей натрия с одно- и двухзарядными анионами // Вестник технологического университета. — 2017. — Т. 20. — № 19. — С. 21-25. EDN: ZXFIQH.

33. Stankova A.V., Elovkhov 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 // Russian Journal of Physical Chemistry

А. 2017. Vol. 91, no. 5. P. 880-886. DOI: 10.1134/S0036024417050247.

34. 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. Энциклопедический справочник. — 2022. — № 14. — С. 30-35. DOI: 10.31044/1994-6260-2022-0-14-30-35.

35. Инновационное развитие науки: фундаментальные и прикладные проблемы / А.С. Анацкая, Д.Б. Арганчиева, А.Т. Ахмедов [и др.]. Петрозаводск: Международный центр научного партнёрства «Новая Наука», 2021. — 412 с. ISBN 978-5-00174-392-7. DOI 10.46916/03122021-1-978-5-00174-392-7. EDN SYE0BP.

V.I.Zholnerkevich, A.O.Shrubok

Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

APPLICATION OF A COAGULATION SYSTEM WATER – NEONOL AF 9-6 – SODIUM SULFATE TO REDUCE POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN WASTE OILS

It has been shown that waste oils contain up to 95% of hydrocarbons promising raw materials for producing products after regeneration. It has been established that waste oils after removal of polycyclic aromatic hydrocarbons can be used as plasticizer oils for rubber compounds. The disadvantages of the process of removing polycyclic aromatic hydrocarbons from waste oils using extraction purification are considered. It is shown that an alternative and one of the promising directions of waste oil regeneration is the use of a coagulation system based on a surfactant. It has been determined that nonionic surfactants have the greatest solubilizing ability in relation to pyrene and naphthalene. Adding of various salt additives is to increase the solubilizing properties of surfactants. The possibility of using the water – neonol AF 9-6 – sodium sulfate system for waste oil purification is shown. The waste mineral oil and its purification products were chosen as the object of research. The waste and purified oil products were analyzed for the content of polycyclic aromatic hydrocarbons according to the IP 346 method, which consists in extracting PAHs with a solution of dimethyl sulfoxide saturated with cyclohexane, followed by fixing the mass of the isolated PAHs. The structural and group analysis of the oils were carried out by calculation according to ASTM D 2140. The composition of the oil by the type of carbon occurring in aromatic, naphthenic and paraffin structures is determined by correlation with the main physico-chemical parameters (density by GOST 3900, viscosity — GOST 33 and refractive index — GOST 18995.2). Purification of the waste oil with a system containing 3 and 5 wt.% neonol AF 9-6 the lowest amount of purified oil (87.60 and 87.20 wt.%, respectively). This data is associated with the removal of aromatic structures from the waste oil. The structural and group composition of the oils, were showed that the use of a system containing 3 and 5 wt.% of neonol leads to a decrease in the number of carbon atoms per aromatic structure to 8.0 and 8.2%, respectively. It is shown that the oil consists of hybrid structures, which are aromatic structures with alkyl substituents, as a result of which, as a result of purification of the waste oil, the number of carbon atoms per the paraffin structures decreases. This is confirmed by a change in the ratio of paraffin structures to naphthenic ones. This ratio decreases be regardless of the concentration of neonol in the system. The data of the structural group composition are consistent with the data on the content of polycyclic aromatic hydrocarbons isolated by the IP 346 method. It is shown that the greatest decrease in the content of polycyclic aromatic hydrocarbons is up

to 2.67 and 2.34 wt.% is observed in the case of a system containing 3 and 5 wt.% neonol AF 9-6, respectively. Using UV-spectroscopy, it was determined that the components of the coagulating system are absent in the purified oils.

Key words: waste oil, coagulation treatment, coagulant, polycyclic aromatic hydrocarbons

For citation: Zholnerkevich V.I., Shrubok A.O. Application of a coagulation system water – neonol AF 9-6 – sodium sulfate to reduce polycyclic aromatic hydrocarbons in waste oils. *Oil Refining and Petrochemistry*, 2026, No. 1, pp. 042-48. DOI 10.65402/nph.2026.1.008.

References

1. Nikolaeva A.V., Kozhevniko V.A., Chernykh V.A. Analysis of the potential use of used oil products for their self-needs in the organizations of the Transneft system. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov*. 2020. Vol. 2020. N. 1. P. 70-83 (In Russ.). DOI: 10.28999/2541-9595-2020-10-1-70-83.
2. Khurnova L.M. Modern technologies of recycling of waste engine oil. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii*. 2019. No. 2(21). P. 280-292 (In Russ.). EDN YXSKCL.
3. Ostrikov V.V., Popov S.Ju., Shihalev I.N., Divin A.G., Manaenkov K.A. Dispersion wednesday greases on the basis of waste oils. *Nauka v central'noj Rossii*. 2015. No. 2(14). P. 43-53 (In Russ.). EDN: TPUNMF.
4. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Balabanov V.I., Safonov V.V. Manufacturing of greases based on deep-cleaned spent mineral and synthetic motor oils. *Petroleum chemistry*. 2017. Vol. 57. No. 8. P. 705-713. DOI: 10.1134/S0965544117080096.
5. Prohorov V.Yu. Disposal and reuse of used lubricants of transport and transport-technological machines. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»*. 2017. Vol. 2. P. 235-238 (In Russ.). EDN: ZDGTIN.
6. Klyukina K. Chachina S.B., Denisova E.P. Production of biodiesel from used engine oil. *Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva*: In Proceedings of the 14th International Scientific and Technical Conference, Omsk, March 12-15, 2024. Omsk, Omsk State Technical University Publ., 2024. P. 158-159. (In Russ.). EDN: AJBAOG.
7. Balabanov V.B., Romanovskaya A.V., Klimentyeva I.M. Polymer bitumen binders plasticized by waste motor oils. *Vestnik IrGTU*. 2013. No. 6(77). Pp. 72-75 (In Russ.). EDN: QCRBTT.
8. Asad T., Yunusov M.Yu., Umarov S.S., Sairahmonov R.H. Theoretical aspects, experimental research efficiency of application of the complex additive of various functional purpose in the composition of road bitumens. *Politekhnikeskij vestnik. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*. 2020. No. 1(49). Pp. 123-128 (In Russ.). EDN: XTSSDI.
9. Leshkevich A.V., Shashok Z.S., Prokopchuk N.R., Uss E.P., Karmanova O.V. Compatibility study of plasticizing additives based on recycled raw materials in the petrochemical with elastomer matrix. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzheneryh tekhnologij*. 2019. Vol. 81. No. 4(82). Pp. 190-195. (In Russ.). DOI 10.20914/2310-1202-2019-4-190-195.
10. Bajseit Zh.G., Sakibaeva S.A., Rubanov V.I. Investigation of the effect of waste oil purification products on the properties of elastomeric compositions. *Vestnik nauki Yuzhnogo Kazahstana*. 2020. No. 1(9). P. 15-22 (in Russ.). EDN: RVAJOJ.
11. Patrakov Yu.F., Semenova S.A., Klein M.S. Expansion of the raw material basis of flotorea agents for the use of ozone motor oils. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2018. No. 1. Pp. 164-168. (In Russ.) DOI 10.26730/1999-4125-2018-1-164-168.

12. Klein M.S., Vakhonina T.E. Terms efficient use of waste mineral oils composed of collectors for the flotation of coal slimes. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. No. 5. Pp. 163-166 (In Russ.). EDN: UNSGXJ.
13. Karmin B.K., Troickaya N.I., Guseva V.I., Markova L.M., Lukashevich I.P., Susanina O.G. The influence of the nature and structure of hydrocarbon fractions of petroleum plasticizers on the properties of oil-filled rubbers and rubbers based on them. *Plastifikatory i zashchitnye agenty iz neftyanogo syr'ya*. 1969. Vol. 85. P. 35-44 (In Russ.).
14. Mingulova I.R. Methodological substantiation of the estimation of the amount of pollutants entering megapolluted environment as a result of abrading the tire protectors and wheel brake mechanisms. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya*. 2011. No. 3(28). P. 197-202 (In Russ.). EDN: ONCWUX.
15. Grafkina M.V., Azarov A.V., Dobrinskij D.R., Tihonova M.M. Analysis of the negative impact on ecosystem elements in the process of dust release from the passage of motor vehicles on various types of road surfaces. *Uspekhi sovremennoj nauki*. 2016. Vol. 8. No. 12. Pp. 142-147 (In Russ.). EDN: XILGVZ.
16. Vasil'ev A.N., Garaev A.L., Kagriev R.S., Kozlovceva E.Yu. Investigation of fine dust pollution in roadside areas. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2020. No. 3(63). Pp. 40-47 (In Russ.).
17. Ozarenko A.A., Kulikov A.B., Frosin S.B., Dunaev S.V., Lesin A.V. Recycling of used engine oil (review). *Oil Refining and Petrochemistry*. 2023. N. 1. P. 21-27 (In Russ.). EDN: GRDWQK.
18. Ostrikov V.V., Tupotilov N.N., Popov S.Y. Study of waste disposal synthetic motor oils solvents specific. *Nauka v central'noj Rossii*. 2013. No. 5. Pp. 27-30 (In Russ.). EDN: RSZOXR.
19. Safiullina A.F., Yangirova Z.Z. *Recycling of used engine oil with another solvent. Inzhenernoe obrazovanie v kontekste budushchih promyshlennyh revolyucij — SINERGIYA-2020*: In Collection of scientific articles of the International network scientific and practical conference on engineering education, Ufa, 3-4 September, 2020. Ufa, Ufa State Petroleum Technological University Publ., 2020. pp. 70-77. (In Russ.). EDN: VCYIOX.
20. Trushkova L.V., Paukov A.N. *Development of methods for the regeneration of used oils at the LLK-International motor Oil plant. Neft' i gaz Zapadnoj Sibiri*: In Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference dedicated to the 45th anniversary of the Tyumen Fuel and Energy Complex and the 80th anniversary of Valery Isaakovich Graifer, Tyumen, October 20-21, 2009. Vol. 2. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 2009. Pp. 251-253. (In Russ.). EDN: TCQPWP.
21. Pyhalova N.V., Ngo H.T.T. *Method for recovery of used mineral oils that do not contain additives*. Patent RU2775171C1, 2022.
22. Angulo Aramburu Kh. *Method of purification of the waste oils using extraction by dissolvents*. Patent RU2288946C2, 2006.
23. Kori S. Cloud point extraction coupled with back extraction: a green methodology in analytical chemistry. *Forensic Sciences Research*. 2021. Vol. 6, no. 1. P. 19-33. DOI: 10.1080/20961790.2019.1643567.
24. Kojro G., Wroczynski P. Cloud point extraction in the determination of drugs in biological matrices. *Journal of Chromatographic Science*. 2020. Vol. 58, no. 2. P.151-162. DOI: 10.1093/chromsci/bmz064.
25. Mortada W.I. Recent developments and applications of cloud point extraction: a critical review. *Microchemical Journal*. 2020. Vol. 157. P. 105055. DOI: 10.1016/j.microc.2020.105055.
26. Hung K.-C., Chen B.-H., Yu L.E. Cloud-point extraction of selected polycyclic aromatic hydrocarbons by nonionic surfactants. *Separation and Purification Technology*. 2007. Vol. 57, no. 1. P. 1-10. DOI:10.1016/j.seppur.2007.03.004.
27. Topchiy I.A., Stom D.I., Donina K.Yu., Alferov S.V., Nechaeva I.A., Kupchinsky A.B., Ogarkov B.N., Petrova Yu.Yu., Antonova E.V. Use of surfactants in biodegradation of hydrophobic compounds: a review. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya*. 2022. Vol. 12. No. 4. Pp. 521-537 (In Russ.). DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-4-521-537.
28. Masrat R., Maswal M., Dar Ahmad A. Competitive solubilization of naphthalene and pyrene in various micellar systems. *Journal of Hazardous Materials*. 2013. Vol. 244-245. P. 662-670. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.10.057.
29. Serdyuk A.A., Gajnanova G.A., Mirgorodskaya A.B., Karpichev E.A., Zaharova L.YA., Gavrilova E.L. Patterns of solubilization of polyaromatic compounds by micellar systems based on cationic surfactants. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. Vol. 18. No. 12. P. 15-18 (In Russ.). EDN: UBLWEV.
30. J.-L. Li, B.-H. Chen. Solubilization of model polycyclic aromatic hydrocarbons by nonionic surfactants. *Chemical Engineering Science*, 57 (2002), 2825-2835.
31. Tolmacheva N.G. *A new approach to the use of microemulsions for the extraction and concentration of organic hydrophobic compounds followed by chromatographic determination*: Diss. Cand. Sci.(Eng.). Moscow, 2017. 114 pp. (In Russ.).
32. Arhipov V.P., Arhipov R.V., Idiyatullin Z.SH. Extraction properties of aqueous solutions of oxyethylated isonylphenols in the presence of sodium salts with single and double charged anions. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2017. Vol. 20. N 19. P. 21-25 (In Russ.) EDN: ZXFIQH.
33. 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. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2017. Vol. 91, no. 5. P. 880-886. DOI: 10.1134/S0036024417050247.
34. Shilykovskaya D.O., Denisova S.A., Elokhov A.M. Study of solubility and extraction ability of systems based on neonol mixtures of 9-6 and of 9-12. *Vse materialy. Enciklopedicheskij spravochnik*. 2022. No. 14. Pp. 30-35. (In Russ.). DOI: 10.31044/1994-6260-2022-0-14-30-35.
35. *Innovative Development of Science: Fundamental and Applied Problems* / A.S. Anatskaya, D.B. Arganchieva, A.T. Akhmedov [et al.]. Mezhdunarodnyj centr nauchnogo partnerstva Novaya Nauka Publ., 2021. 412 p. ISBN 978-5-00174-392-7. DOI 10.46916/03122021-1-978-5-00174-392-7. (In Russ.). EDN SYE0BP.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Жолнеркевич Вероника Игоревна, аспирант кафедры нефтегазопереработки и нефтехимии. УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Беларусь.

E-mail: zholnerkevichv@mail.ru

Шрубок Александра Олеговна, канд. техн. наук, доцент кафедры нефтегазопереработки и нефтехимии. УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Беларусь

Zholnerkevich Veronika I., Postgraduate Student of the Department of Oil and Gas Refining and Petrochemistry Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus.

E-mail: zholnerkevichv@mail.ru

Shrubok Aleksandra O., Cand. Sci. (Eng.). Associate Professor of the Department of Oil and Gas Refining and Petrochemistry Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus