Статья поступила в редакцию: 20.09.2026
Статья принята к публикации: 26.09.2026
Статья опубликована: 28.10.2026

УДК 665.7+542.8

Исследование кинетики разделения водомасляной эмульсии отработанного масла под влиянием деэмульгатора «КХД-М-1» и температурного фактора

Негматов Сайибжан Садыкович
научный руководитель Государственного учреждения Фан ва тараккиёт Ташкентский государственный технический университет, акад. АН РУз, Заслуженный деятель науки Республики Узбекистан
Республика Узбекистан, г. Ташкент
Исмаилов Равшан Исраилович
д-р хим. наук, проф.
Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент
Негматова Комила Сайибжановна
д-р техн. наук, проф.
Государственного учреждения Фан ва тараккиёт при Ташкентский государственный технический университет, зав. лаб. Механохимическая технология композитов и химических реагентов
Республика Узбекистан, г. Ташкент
Раупова Дилфуза Нуруллаевна
научный сотрудник, PhD
Государственного учреждения Фан ва тараккиёт Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: fan_va_taraqqiyot@mail.ru
Мусабеков Дилшод Хакимович
научный сотрудник, PhD
Государственного учреждения Фан ва тараккиёт при Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Study of the separation kinetics of a water–oil emulsion of used oil under the influence of the demulsifier “KHD-M-1” and temperature

Negmatov Sayibjan
scientific Supervisor, State Institution Fan va Tarakkiyot Tashkent State Technical University Academician of the Academy of Sciences of the; Honored Scientist of the Republic of Uzbekistan Republic of Uzbekistan; Republic of Uzbekistan, Tashkent
Ismailov Ravshan
Doctor of Chemical Sciences, Professor
Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Библиографическое описание: Исследование кинетики разделения водомасляной эмульсии отработанного масла под влиянием деэмульгатора «КХД-М-1» и температурного фактора // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Негматов С.С. [и др.]. 2026. 10(151). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23487

Negmatova Komila
Head of Laboratory Mechanochemical Technology of Composites and Chemical Reagents, Doctor of Technical Sciences, Professor, State Institution Fan va Tarakkiyot, Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent
Raupova Dilfuza
Researcher, PhD
State Institution Fan va Tarakkiyot, Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent
Musabekov Dilshod
Researcher, PhD
State Institution Fan va Tarakkiyot, Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

В работе представлены результаты экспериментального исследования кинетики обезвоживания отработанного масла с применением композиционного химического деэмульгатора «КХД-М-1». Актуальность исследования обусловлена необходимостью эффективного удаления воды из отработанных масел, поскольку наличие водной фазы и устойчивых водомасляных эмульсий существенно осложняет последующие процессы очистки, регенерации и переработки нефтяного сырья и масляных отходов. Особое внимание уделено определению влияния температурного фактора и продолжительности отстаивания на интенсивность разделения водной и масляной фаз.

Целью исследования являлось установление закономерностей изменения объёма выделившейся воды во времени при обезвоживании отработанного масла с использованием деэмульгатора «КХД-М-1», а также определение рационального температурно-временного режима процесса. В качестве основного количественного показателя эффективности обезвоживания использовали объём отделившейся водной фазы, измеряемый через определённые интервалы времени.

Установлено, что при повышенной температуре практически максимальный объём отделившейся воды достигается значительно быстрее, чем при нормальной температуре. Так, через 120 мин при 50 °C было выделено 468 мл воды, тогда как при нормальной температуре за аналогичный период отделилось 400 мл. При этом после 120 мин при 50 °C прирост объёма выделившейся воды становится относительно небольшим, что указывает на приближение системы к состоянию равновесного разделения в исследованных условиях.

Abstract

This study presents the results of an experimental investigation of the dehydration kinetics of used oil using the composite chemical demulsifier “KHD-M-1”. The relevance of the study is обусловлена by the need for effective water removal from used oils, since the presence of an aqueous phase and stable water–oil emulsions significantly complicate subsequent processes of purification, regeneration, and processing of petroleum feedstocks and oily wastes. Particular attention was paid to determining the effects of temperature and settling time on the intensity of separation of the aqueous and oil phases.

The aim of the study was to establish the patterns of change in the volume of separated water over time during the dehydration of used oil using the “KHD-M-1” demulsifier, as well as to determine a rational temperature–time regime for the process. The volume of the separated aqueous phase, measured at specified time intervals, was used as the main quantitative indicator of dehydration efficiency.

It was established that at an elevated temperature, the practically maximum volume of separated water is achieved significantly faster than at normal temperature. Thus, after 120 min at 50 °C, 468 mL of water was separated, whereas at normal temperature, 400 mL was separated over the same period. At the same time, after 120 min at 50 °C, the increase in the volume of separated water became relatively small, indicating that the system was approaching an equilibrium separation state under the studied conditions.

Ключевые слова: отработанное масло, водомасляная эмульсия, обезвоживание, деэмульгатор, «КХД-М-1», кинетика разделения.

Keywords: used oil, water–oil emulsion, dehydration, demulsifier, “KHD-M-1”, separation kinetics.

Введение

Отработанные масла являются сложными многокомпонентными системами, содержащими воду, механические примеси, продукты окисления, смолисто-асфальтеновые вещества и другие загрязняющие компоненты. Наличие воды в составе отработанного масла существенно затрудняет проведение последующих процессов очистки и переработки [6, 2].

Одной из основных стадий предварительной подготовки отработанного масла является удаление воды. При этом вода может находиться как в свободном состоянии, так и в виде диспергированных капель, стабилизированных поверхностно-активными веществами и высокомолекулярными компонентами масла. Образующиеся водомасляные эмульсии характеризуются различной устойчивостью, вследствие чего простого гравитационного отстаивания часто недостаточно для эффективного обезвоживания [9, 7].

Для интенсификации процесса разделения применяются деэмульгаторы, которые способствуют разрушению межфазной плёнки, объединению мелкодисперсных капель воды в более крупные и их последующему гравитационному осаждению [4].

В связи с этим представляет практический интерес исследование эффективности композиционного химического деэмульгатора «КХД-М-1» и определение влияния температуры на кинетику выделения воды из отработанного масла.

Цель исследования. Целью настоящей работы являлось исследование кинетики обезвоживания отработанного масла с применением композиционного деэмульгатора «КХД-М-1», а также определение влияния температуры на скорость и степень разделения водомасляной эмульсии.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали отработанное масло, содержащее водную фазу и диспергированные загрязняющие компоненты.

Для определения содержания воды в образцах использовали метод Дина-Старка. Для определения среднего диаметра капель водной фазы промысловых водонефтяных эмульсий использовали оптическую микроскопию.

Результаты и их обсуждение. Для разрушения устойчивой водомасляной эмульсии применяли разработанный композиционный химический деэмульгатор «КХД-М-1» (композиционный химический деэмульгатор-масло). После введения деэмульгатора исследуемую систему подвергали перемешиванию, после чего проводили отстаивание [5].

Для оценки кинетики процесса через заданные промежутки времени определяли объём выделившейся воды. Исследования проводили в двух температурных режимах: при нормальной температуре; при температуре 50 °С. При нормальной температуре измерения проводили через 30, 60, 90, 120 и 150 мин, а также через 16, 18 и 24 часа. При температуре 50 °С измерения проводили через 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 и 120 мин.

Основным показателем процесса являлся объём отделившейся водной фазы, выраженный в миллилитрах. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1. Динамика выделения воды из отработанного масла при различных температурах

№	Время	30 мин	60 мин	90 мин	120 мин	150 мин	16 час	18 час	24 час
1.	Количество выделившейся воды (мл) из масла в нормальной температуры	270	340	380	400	420	455	458	460
	Время	5 мин	10 мин	20 мин	40 мин	60 мин	80 мин	100 мин	120 мин
2.	Количество выделившейся воды (мл) из масла в 50 ^{0}С	320	390	430	450	455	462	465	468

Анализ полученных данных показывает, что процесс обезвоживания отработанного масла характеризуется постепенным увеличением объёма выделившейся воды во времени.

При нормальной температуре через 30 мин объём выделившейся воды составлял 270 мл. При дальнейшем отстаивании данный показатель увеличивался до 340 мл через 60 мин, 380 мл через 90 мин, 400 мл через 120 мин и 420 мл через 150 мин. После продолжительного отстаивания объём выделившейся воды достигал 455 мл через 16 часов, 458 мл через 18 часов и 460 мл через 24 часа.

При температуре 50 °С процесс разделения протекал интенсивнее. Уже через 5 мин объём выделившейся воды составлял 320 мл, через 10 мин - 390 мл, через 20 мин - 430 мл. Через 40 мин было выделено 450 мл воды, а через 60 мин - 455 мл. В дальнейшем объём увеличивался до 462 мл через 80 мин, 465 мл через 100 мин и достигал 468 мл через 120 мин.

Таким образом, повышение температуры до 50 °С приводит к существенному ускорению процесса выделения воды. Практически максимальный объём отделившейся воды при данной температуре достигается уже через 120 мин, в то время как при нормальной температуре для достижения близкого результата требуется значительно более длительное время отстаивания.

Ускорение процесса разделения при повышенной температуре связано со снижением вязкости масляной фазы и повышением подвижности диспергированных капель воды. Это создаёт более благоприятные условия для их столкновения, коалесценции и последующего гравитационного отделения.

При этом необходимо отметить, что дальнейшее увеличение продолжительности отстаивания после достижения практически постоянного объёма отделившейся воды приводит лишь к незначительному дополнительному выделению водной фазы. Следовательно, при технологическом выборе продолжительности процесса целесообразно учитывать не только максимальный объём выделившейся воды, но и экономическую эффективность увеличения времени отстаивания.

Эффективность применения «КХД-М-1» связана с его способностью воздействовать на структуру устойчивой водомасляной эмульсии. В исходной системе мелкодисперсные капли воды окружены межфазной плёнкой, содержащей поверхностно-активные и высокомолекулярные компоненты.

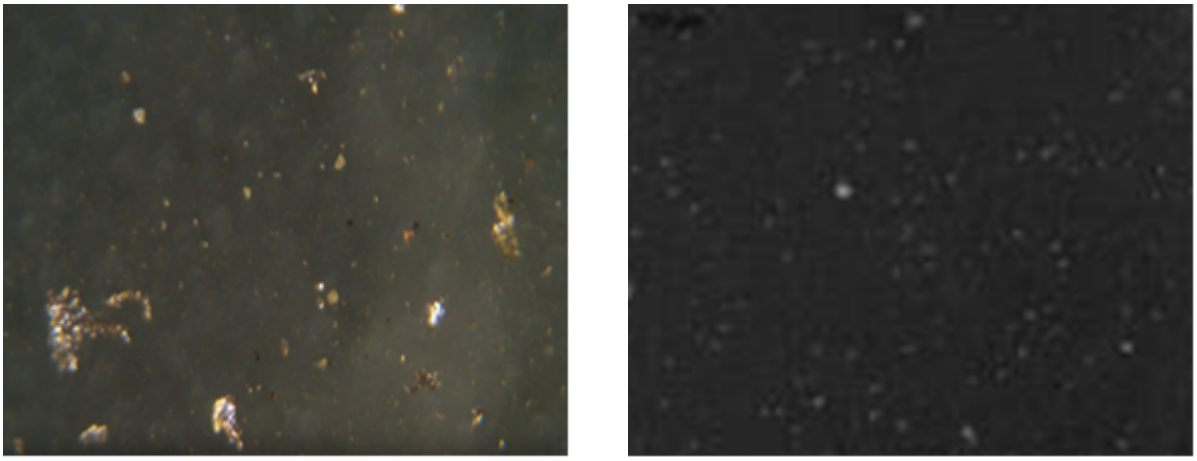
При введении деэмульгатора происходит нарушение устойчивости данной межфазной структуры. В результате уменьшается устойчивость диспергированных капель воды, создаются условия для их укрупнения и коалесценции.

Укрупнившиеся капли воды обладают большей скоростью осаждения, вследствие чего ускоряется формирование отдельного слоя водной фазы. Повышение температуры дополнительно способствует этому процессу за счёт снижения вязкости масляной среды.

Далее определяли микроскопическое исследование композиционного деэмульгатора для разрушения масляной эмульсии. Важную роль в процессе обезвоживания масло играет разрушение водомасляной эмульсии и коалесценция капель [3, 8]. Поэтому необходимо учитывать влияние химического реагента на данном этапе.

Принцип работы оптического микроскопа достаточно прост: расходящийся пучок света проходит сквозь образец, полученное изображение увеличивается объективом, преломляется для поступления в тубус окуляра, где увеличивается еще раз. После этого пучок света поступает на сетчатку глаза, формируя картинку.

Результат эффективности композиционного химического деэмульгатора приведен на рис. 1.



а б

Рисунок 1. Микроструктура отработанного масла а - до обработки; б - после обработки деэмульгатором

Разработанная лабораторная методика обработки водомасляной эмульсии с применением композиционного химического деэмульгатора «КХД-М-1» обеспечила эффективное разрушение эмульсионной структуры и интенсивное отделение водной фазы. Для визуальной оценки степени обезвоживания исследуемого масла были получены микрофотографии с использованием поляризационного микроскопа Olympus, оснащённого цифровой фотокамерой SIMAGIS XS-6CU.

Микроскопический анализ исходного и обработанного образцов позволил оценить изменение дисперсной структуры эмульсии после воздействия деэмульгатора. На микрофотографии обработанного образца, представленной на рис. 1(б), наблюдается преимущественно однородная масляная фаза с отсутствием выраженного скопления диспергированных водных капель. В отличие от устойчивой водомасляной эмульсии, в которой водная фаза находится в виде большого количества мелкодисперсных глобул, после обработки препаратом «КХД-М-1» количество визуально обнаруживаемых водных включений существенно уменьшается.

Полученный результат свидетельствует о высокой эффективности разработанной методики разрушения водомасляной эмульсии. Под действием деэмульгатора происходит нарушение устойчивости межфазных плёнок, стабилизирующих капли воды, вследствие чего создаются условия для их коалесценции и последующего гравитационного отделения от масляной фазы. В результате формируется более однородная масляная среда с существенно сниженным содержанием диспергированной воды.

Количественное определение остаточного содержания воды методом Дина–Старка показало, что после обработки содержание воды в исследуемом масле составило 0,1 % [1, 10]. Данный результат согласуется с результатами микроскопического исследования: на микрофотографии обработанного образца отдельные водные глобулы либо практически не обнаруживаются, либо присутствуют в крайне малом количестве. При этом следует учитывать, что микроскопический метод имеет преимущественно качественный характер и не позволяет исключить наличие воды в молекулярно растворённом или субмикронном состоянии. Поэтому количественная оценка остаточного содержания воды была выполнена методом Дина–Старка.

Заключение

В результате проведённого экспериментального исследования установлено влияние температуры и продолжительности отстаивания на кинетику обезвоживания отработанного масла с применением композиционного деэмульгатора «КХД-М-1».

Показано, что при нормальной температуре процесс выделения воды протекает относительно медленно и продолжается в течение длительного времени. За 24 часа объём отделившейся воды достиг 460 мл.

Повышение температуры до 50 °С значительно интенсифицирует процесс обезвоживания. Уже через 20 мин объём выделившейся воды составил 430 мл, через 60 мин - 455 мл, а через 120 мин достиг 468 мл.

Следовательно, температура 50 °С в исследованных условиях является более благоприятным режимом для ускоренного разделения водомасляной эмульсии с использованием деэмульгатора «КХД-М-1». Полученные результаты подтверждают целесообразность дальнейшей оптимизации температурно-временных параметров процесса с целью повышения эффективности обезвоживания и сокращения продолжительности технологической операции.

Результаты микроскопического анализа и количественного определения содержания воды подтверждают, что композиционный химический деэмульгатор «КХД-М-1» обеспечивает эффективное разрушение водомасляной эмульсии и глубокое обезвоживание отработанного масла.

Список литературы

1. ГОСТ 2477–2014. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды.
2. Загидуллин С.Х., Долганов В.Л., Лыков А.Н., Киселёв А.М. Разработка нового способа термического обезвоживания минеральных масел. Химическая технология и биотехнология // Вестник ПНИПУ. – 2016. – № 4. – С. 129–137.
3. Мажидов А.Х., Шарипов К.А. Основы очистки отработанных масел. Тошкент, Фан. – 2000. – 140 с.
4. Негматов С.С., Рахимов Ю.К., Раупова Д.Н., Мусабеков Д.Х., Иногамова М.Х. Исследование механизма взаимодействия в процессе деэмульсации с выбранными реакционноспособными соединениями путем применения современных физико-химических методов. Universum: технические науки: электрон. научн. журн. Негматов С.С. [и др.]. 2024. 9(126) [Электронный ресурс]. URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18280 (дата обращения: 21.09.2026).
5. Олдырев С.М. Контроль процесса очистки отработанного масла / С.М. Олдырев, Л.А. Нагорский // Инновации в сельском хозяйстве: электронный журнал Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства. – 2015. – № 2. – С. 149–153.
6. Цуканова Г.И., Безруков В.А., Карпова Г.В., Багдасарова О.В. Габаритный расчет и выбор компонентов оптических систем микроскопов. Учебное пособие. – Университет ИТМО. – 2015. – 92 с.

7. Цуканова Г.И., Безруков В.А., Карпова Г.В., Багдасарова О.В. Габаритный расчет и выбор компонентов оптических систем микроскопов. Учебное пособие. – Университет ИТМО. – 2015. – 92 с.
8. Яковлева Н.П., Кириченко Г.Н., Лапинг Т.П., Швец О.А. «Регенерация отработанного турбинного масла» // Энергетик. – 2003. – № 1. – С. 34–35.
9. Negmatov S.S., Abed N.S., Negmatova K.S., Raupova D.N., Ikramova M.E., Rakhimov Kh.Y., Tulyaganova V.S., Yulchieva S.B. Research of physical and chemical properties of the developed composite demulsifier based on local and secondary raw materials for destruction of petroleum emulsion. PPOR. – 2024. – T. 25, № 1. – P. 207–216. – DOI: 10.62972/1726–4685.2024.1.207.

References

1. GOST 2477 Petroleum and Petroleum Products. Method for Determination of Water Content. – 2014.
2. Zagidullin S.Kh., Dolganov V.L., Lykov A.N., Kiselev A.M. Development of a New Method for Thermal Dehydration of Mineral Oils. Chemical Technology and Biotechnology // Bulletin of PNRPU. – 2016. – No. 4. – P. 129–137.
3. Mazhidov A.Kh., Sharipov K.A. Fundamentals of Used Oil Purification. – Tashkent: Fan, 2000. – 140 P.
4. Negmatov S.S., Rakhimov Yu.K., Raupova D.N., Musabekov D.Kh., Inogamova M.Kh. Investigation of the Interaction Mechanism during Demulsification with Selected Reactive Compounds Using Modern Physicochemical Methods. Universum: Technical Sciences: Electronic Scientific Journal, 2024, Available at: [Электронный ресурс]. – No. 9 (126). – URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18280 (accessed: 21.09.2026).
5. Oldyrev S.M., Nagorsky L.A. Control of the Used Oil Purification Process. Innovations in Agriculture: Electronic Journal of the All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture, 2015, No. 2, P. 149–153.
6. Tsukanova G.I., Bezrukov V.A., Karpova G.V., Bagdasarova O.V. Dimensional Design and Selection of Components of Optical Systems of Microscopes. Study Guide. ITMO University. – 2015. – 92 P.
7. Tsukanova G.I., Bezrukov V.A., Karpova G.V., Bagdasarova O.V. Dimensional Design and Selection of Components of Optical Systems of Microscopes. Study Guide. ITMO University. – 2015. – 92 P.
8. Yakovleva N.P., Kirichenko G.N., Laping T.P., Shvets O.A. Regeneration of Used Turbine Oil. Energetik, 2003, No. 1, P. 34–35.
9. Negmatov S.S., Abed N.S., Negmatova K.S., Raupova D.N., Ikramova M.E., Rakhimov Kh.Y., Tulyaganova V.S., Yulchieva S.B. Research of physical and chemical properties of the developed composite demulsifier based on local and secondary raw materials for destruction of petroleum emulsion. PPOR. – 2024. – Vol. 25, No. 1. – P. 207–216. – DOI: 10.62972/1726–4685.2024.1.207.