

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ, НЕФТЕХИМИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ

PROCESSES AND APPARATUS OF CHEMICAL ENGINEERING, PETROLEUM CHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY

Научная статья
УДК 665.622:66.066.6
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-4-38-45>
EDN LRXYOG

Совершенствование магнитной деэмульсации нефти

Николай Дмитриевич Шишкин[✉], Марина Александровна Марышева

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, n.shishkin-53@mail.ru[✉]*

Аннотация. Нефтеводная эмульсия, подвергнутая магнитному воздействию, характеризуется гомогенностью, парамагнитной активностью и обладает меньшей вязкостью. Применение магнитного поля позволяет не только дестабилизировать структуры нефтяных ассоциатов, образованные смолисто-асфальтеновыми компонентами и кристаллическими парафинами, но и сохранить этот эффект в течение определенного времени. Необходимо выявление наиболее эффективных способов и методов разделения нефтеводных эмульсий с применением переменных и постоянных магнитных полей. Для исследования основных параметров процесса был выполнен ряд экспериментальных исследований. Была создана оригинальная лабораторная электромагнитная деэмульсационная установка для деэмульсации нефтеводной эмульсии при совместном воздействии теплового и электромагнитного поля. Установка позволила проводить эксперименты при различных значениях температуры этой эмульсии, содержании в ней воды и изменении характеристик электромагнитного поля. Были проведены экспериментальные исследования по гравитационной и электромагнитной деэмульсации и сопоставлены аналитические и экспериментальные данные. Эксперименты показали, что с увеличением обводненности нефтеводной эмульсии возрастает отношение скорости деэмульсации под действием электромагнитного поля как к гравитационному отстаю, так и к отстаю с подогревом. Воздействие электромагнитного поля увеличивает скорость осаждения частиц воды в нефти в 2,7–4,2 раза. Наблюдается прямая корреляция – с ростом обводненности нефтеводной эмульсии повышается отношение скорости деэмульсации под действием электромагнитного поля к гравитационному отстаиванию при прочих равных условиях. Разработана методика экспериментального исследования процесса деэмульсации нефти с применением магнитной мешалки. Воздействие постоянного магнитного поля возбуждает оболочки бронирующих глобул нефти, что приводит к их разрыхлению и взаимному переориентированию в них соединений железа. В проведенных экспериментах воздействие постоянного магнитного поля с использованием магнитной мешалки не менее эффективно, чем источников электромагнитного поля. В дальнейшем предполагается найти оптимальный режим деэмульсации при совместном воздействии постоянного магнитного поля с центробежными сила на глобулы воды и вызывающих ускорение деэмульсации.

Ключевые слова: нефтеводная эмульсия, переменное магнитное поле, постоянное магнитное поле, скорость деэмульсации, магнитная мешалка, оптимальный режим деэмульсации

Для цитирования: Шишкин Н. Д., Марышева М. А. Совершенствование магнитной деэмульсации нефти // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2025. № 4. С. 38–45. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-4-38-45>. EDN LRXYOG.

Original article

Improving magnetic oil demulsification

Nikolay D. Shishkin[✉], Marina A. Marysheva

Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, n.shishkin-53@mail.ru[✉]

Abstract. An oil-water emulsion subjected to magnetic treatment is characterized by homogeneity, paramagnetic activity, and lower viscosity. The use of a magnetic field not only destabilizes the structures of oil associates formed by resinous-asphaltene components and crystalline paraffins but also maintains this effect for a certain period of time. It is necessary to identify the most effective methods and techniques for separating oil-water emulsions using alternating and constant magnetic fields. A series of experimental studies were conducted to investigate the key process parameters. A unique laboratory-scale electromagnetic demulsification system was developed for demulsifying oil-water emulsions using the combined action of thermal and electromagnetic fields. The setup allowed experiments to be conducted at various emulsion temperatures, water contents, and electromagnetic field characteristics. Experimental studies of gravitational and electromagnetic demulsification were conducted, and analytical and experimental data were compared. The experiments showed that with increasing oil-water emulsion water content, the ratio of the demulsification rate under the influence of an electromagnetic field to both gravity settling and heated settling increases. Exposure to an electromagnetic field increases the settling rate of water particles in oil by 2.7-4.2 times. A direct correlation is observed: as the water cut of a water-oil emulsion increases, the ratio of the demulsification rate under the influence of an electromagnetic field to gravitational settling increases, all other things being equal. A method for experimentally studying the oil demulsification process using a magnetic stirrer has been developed. Exposure to a constant magnetic field excites the shells of the armored oil globules, leading to their loosening and the mutual reorientation of iron compounds within them. In the experiments conducted, the effect of a constant magnetic field using a magnetic stirrer was no less effective than electromagnetic field sources. Future work aims to find the optimal demulsification regime using a combined constant magnetic field and centrifugal force on the water globules, accelerating demulsification.

Keywords: an oil-water emulsion, alternating magnetic field, constant magnetic field, demulsification rate, magnetic stirrer, optimal demulsification mode

For citation: Shishkin N. D., Marysheva M. A. Improving magnetic oil demulsification. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2025;4:38-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-4-38-45>. EDN LRXYOG.

Введение

В процессе добычи нефти и ее движения вместе с пластовой водой формируются устойчивые нефтеводяные эмульсии (НВЭ) с разнообразным содержанием воды, возникают осложнения, связанные с образованием и разделением НВЭ при сборе и подготовке продукции скважин. Использование добытой нефти становится возможным только после удаления воды, поскольку соли, присутствующие в пластовой воде, вызывают коррозию оборудования, нейтрализуют катализаторы нефтехимических процессов и повышают зольность конечных продуктов переработки нефти [1]. Согласно общепринятому представлению стабилизирующий слой глобулы воды представляет собой гелеобразную пленку. Она состоит из адсорбированных на границе раздела фаз «нефть – вода» асфальтенов и смол, на которые осаждаются твердые парафины и механические примеси. Основная задача деэмульсации заключается в разрушении этого стабилизирующего слоя.

В последние годы в нефтяной промышленности отмечается устойчивая тенденция к ухудшению структуры запасов нефти. Это выражается в росте доли трудноизвлекаемой нефти, вовлечении в разработку месторождений с осложненными геолого-физическими условиями, высокой вязкостью нефти, а также наличием многочисленных залежей с обширными нефтегазовыми зонами и подошвенной

водой [2]. Данные факторы ведут к увеличению себестоимости добычи и подготовки нефти традиционными способами, что стимулирует научный поиск альтернативных методов. К таким методам относится воздействие на нефть полей различной физической природы: нагрев микроволновым излучением, обработка инфра- и ультразвуком в роторно-пульсационных аппаратах, радиационное воздействие и др. В настоящее время одним из наиболее эффективных методов деэмульсации считается обработка магнитными полями, что делает актуальным исследование влияния электромагнитного переменного поля и постоянного магнитного поля.

Целью статьи является исследование процесса деэмульсации с применением переменного и постоянного магнитного поля. Задачи исследования включают:

- 1) краткий анализ существующих систем и разработок по магнитной деэмульсации;
- 2) экспериментальное исследование влияния электромагнитного поля на скорость разделения эмульсии, сравнительный анализ гравитационной и электромагнитной деэмульсации;
- 3) предварительные эксперименты по исследованию процесса деэмульсации под влиянием постоянного магнитного поля с использованием магнитной мешалки.

Краткий анализ существующих систем и разработок по магнитной деэмульсации

Несмотря на широкое внедрение магнитной обработки жидкостей, до сих пор отсутствует полноценно разработанная теория, которая позволяла бы проектировать промышленные аппараты и технологии на основе данных о свойствах жидкости [3]. В связи с этим разработка новых магнитных аппаратов основывается на лабораторных исследованиях, в ходе которых определяются и выбираются параметры электромагнитного поля, необходимые для воздействия на конкретную жидкость. Таким образом, особенности магнитных взаимодействий позволяют предполагать существование различных механизмов разрушения эмульсий под действием магнитного поля. Выявление того, что происходит в действительности, является предметом текущих исследований с использованием широкого спектра аналитических приборов [4]. Анализ литературных данных позволяет отметить, что применение магнитной обработки для процессов деэмульсации нефти дает положительный результат, существенно снижая содержание остаточной воды в нефтяной фазе и вязкость нефтяного слоя. При этом максимальная эффективность достигается при обработке переменным магнитным полем. Следовательно, согласно результатам проведенных испытаний, возможно заключить, что деэмульсацию НВЭ целесообразно проводить с использованием установок для магнитной обработки переменным магнитным полем [5]. В силу специфики нефтепромыслового оборудования наибольшее распространение получили аппараты с постоянными магнитами, которые легко монтируются и не требуют специальной подготовки обслуживающего персонала [6]. Однако присущие им недостатки, такие как низкая напряженность магнитного поля, невозможность регулирования параметров обработки в соответствии с изменяющимися физико-химическими свойствами перекачиваемой среды, а также способность накапливать ферромагнитные примеси [7] на поверхности магнитов в процессе эксплуатации, не позволили применять их для широкого круга задач [8].

После изучения современного состояния и перспектив создания установок для деэмульсации нефти были проведены аналитические и экспериментальные исследования по гравитационной и электромагнитной деэмульсации, в рамках которых сопоставлены аналитические и экспериментальные данные. Переменное магнитное поле вызывает поляризацию капелек (глобул) воды и их взаимное притяжение. Это явление в сочетании с термическим воздействием приводит к значительному ускорению коагуляции и коалесценции капель воды и их быстрому отстою [9]. Анализ литературных источников показывает, что при магнитной обработке обводненности нефтяной фазы существенно снижается. Средняя скорость расслоения увеличивается на 50 %, время максимального расслоения без магнитной обработки составляет 3 ч, а при обработке сокращается до 1,5 ч [10].

НВЭ, подвергнутая магнитному воздействию, характеризуется гомогенностью, парамагнитной активностью и обладает меньшей вязкостью [11–13]. Кроме того, применение магнитного поля позволяет не только дестабилизировать структуры нефтяных ассоциатов, образованные смолисто-асфальтеновыми компонентами и кристаллическими парафинами, но и сохранить этот эффект в течение определенного времени. Актуальной задачей является выявление наиболее эффективных способов и методов разделения НВЭ, в т. ч. с применением переменных и постоянных магнитных полей.

Исследование электромагнитной деэмульсации

Для исследования основных параметров процесса был выполнен ряд экспериментальных исследований [14]. С целью их проведения в лаборатории Института нефти и газа Астраханского государственного технического университета (АГТУ) была создана оригинальная лабораторная электромагнитная деэмульсационная установка для деэмульсации НВЭ при совместном воздействии теплового и электромагнитного полей [15].

Общий вид этой установки представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид лабораторной электромагнитной деэмульсационной установки

Fig. 1. General view of the laboratory electromagnetic demulsification unit

Установка позволяет проводить эксперименты при различных значениях температуры НВЭ, содержании в ней воды и изменении характеристик электромагнитного поля. Были проведены экспериментальные исследования по гравитационной и электромагнитной деэмульсации.

Для расчета скорости свободного осаждения частиц воды в нефти может быть использована известная формула Стокса для ламинарного движения [16]:

$$W_0 = \frac{d^2 (\rho_v - \rho_m)}{18\mu_m}, \quad (1)$$

где W_0 – скорость свободного осаждения глобул воды в нефти; $\rho_v - \rho_m$ – разность плотностей воды и нефти; d – диаметр глобулы воды; μ_m – динамическая вязкость нефти.

Результаты экспериментов по гравитационной деэмульсации НВЭ в сосуде объемом 0,45 л, а так-

же результаты расчетов по формуле (1), приведены на рис. 2.

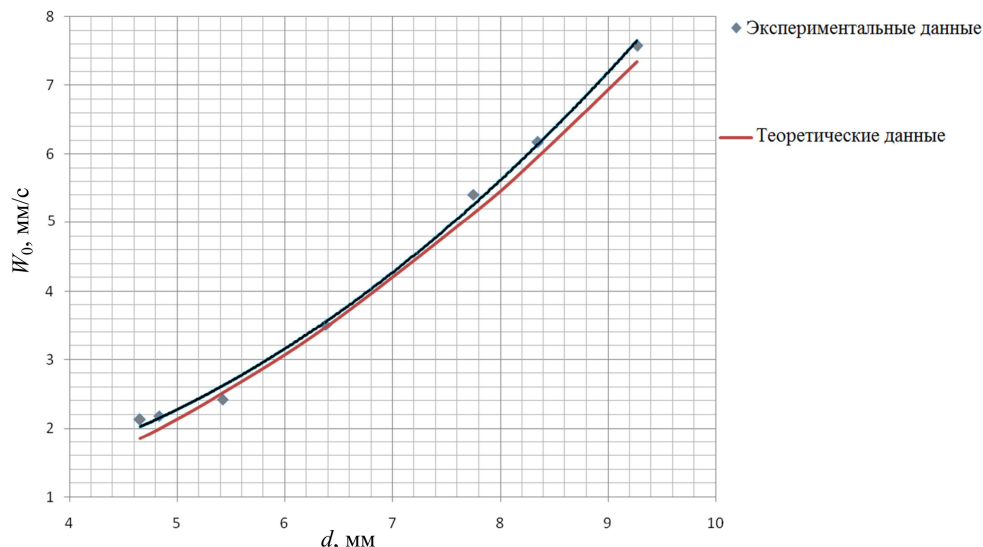


Рис. 2. Сопоставление теоретических и экспериментальных данных по скорости свободного осаждения частиц воды в нефти

Fig. 2. Comparison of theoretical and experimental data on the rate of free settling of water particles in oil

Как видно из рис. 2, экспериментальные значения скорости свободного осаждения частиц воды в нефти практически не отличаются от расчетных значений, расхождения не превышают 2,7–7,5 %.

На рис. 3 представлены графики экспериментальных данных времени деэмульсации от обвод-

ненности эмульсии ϕ : гравитационное разделение НВЭ при температуре 27 °С; гравитационное разделение эмульсии при температуре 50 °С; деэмульсация в лабораторной установке под действием переменного магнитного поля.

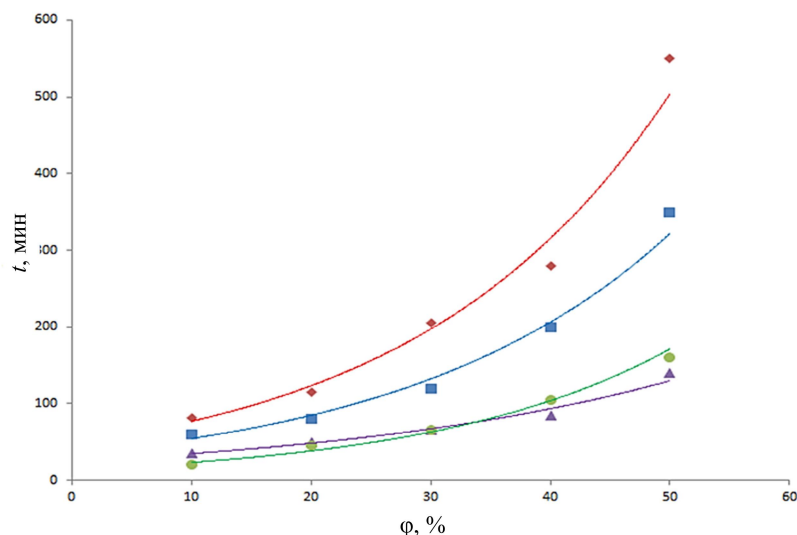


Рис. 3. Экспериментальные данные времени деэмульсации:
 ◆ – гравитационный отстой при $t = 27$ °С; ■ – гравитационный отстой при $t = 50$ °С;
 ▲ – деэмульсация под действием переменного магнитного поля;
 ● – деэмульсация эмульсии с магнитной мешалкой MM-5
 под действием постоянного магнитного поля и центробежных сил инерции

Fig. 3. Experimental data on demulsification time:
 ◆ – gravity settling at $t = 27$ °С; ■ – gravity settling at $t = 50$ °С;
 ▲ – demulsification under the influence of an alternating magnetic field;
 ● – emulsion demulsification with an MM-5 magnetic stirrer under the influence
 of a constant magnetic field and centrifugal inertial forces

Согласно данным, представленным на рис. 3, электромагнитный метод деэмульсации демонстрирует более высокую эффективность по сравнению с гравитационным отстаиванием при всех исследованных значениях обводненности, причем его результативность возрастает с увеличением содержания воды в НВЭ. Это обусловлено способностью электромагнитного поля интенсифицировать процесс коагуляции водных капель: чем выше обводненность, тем больше количество капель в единице объема и, соответственно, интенсивнее их взаимодействие. Проведенные эксперименты установили, что воздействие электромагнитного поля увеличивает скорость осаждения частиц воды в нефти в 2,7–4,2 раза при увеличении обводненности нефти от 10 до 50 % [15]. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности

применения термомангнитных деэмульсаторов, особенно для высокообводненных нефтей.

Исследования процесса деэмульсации под влиянием постоянного магнитного поля

В условиях лаборатории кафедры «Технологические машины и оборудование» АГТУ были осуществлены также предварительные экспериментальные исследования процесса деэмульсации под влиянием постоянного магнитного поля и центробежных сил инерции, создаваемых магнитной мешалкой ММ-5, играющую роль центрифуги. В ходе этих работ был проведен сравнительный анализ аналитических данных и экспериментальных результатов [14]. Конструктивное исполнение использованной магнитной мешалки ММ-5 представлено на рис. 4.

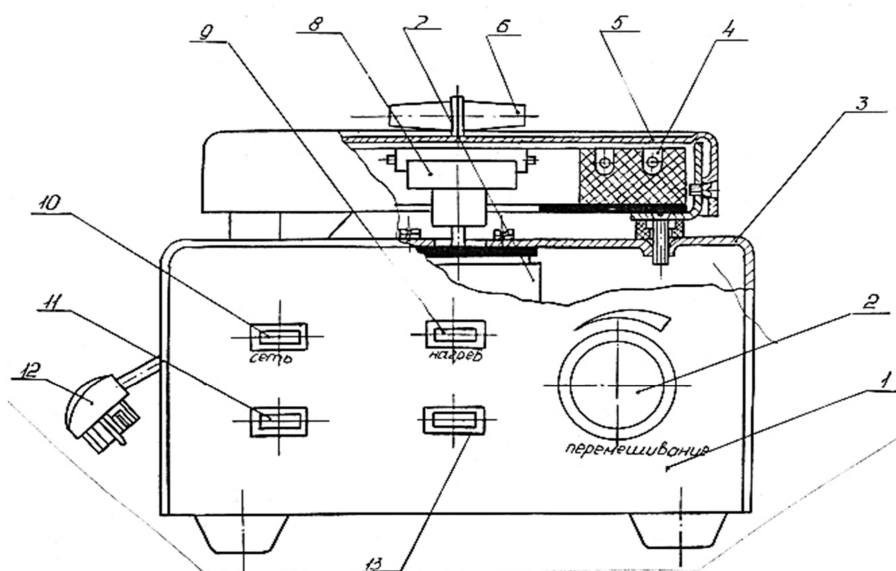


Рис. 4. Мешалка магнитная ММ-5:

- 1 – передняя панель корпуса; 2 – ручка регулирования скорости вращения;
- 3 – верхняя часть корпуса; 4 – электроплитка; 5 – кожух;
- 6 – стержень перемешивающий $\varnothing 8 \times 35$ мм; 7 – электродвигатель; 8 – магнит;
- 9 – лампа сигнальная НАГРЕВ; 10 – лампа сигнальная СЕТЬ; 11 – переключатель для включения электродвигателя;
- 12 – шнур питания с вилкой; 13 – переключатель для включения электроплитки

Fig. 4. Magnetic stirrer MM-5:

- 1 – front panel of the housing; 2 – speed control knob; 3 – upper part of the housing;
- 4 – hotplate; 5 – casing; 6 – stirring rod $\varnothing 8 \times 35$ mm; 7 – electric motor; 8 – magnet;
- 9 – HEAT signal lamp; 10 – POWER signal lamp; 11 – switch for turning on the electric motor;
- 12 – power cord with plug; 13 – switch for turning on the electric stove

Согласно рис. 4, компоновка передней панели корпуса 1 включает следующие элементы управления и контроля: переключатель 11, отвечающий за включение электродвигателя; сигнальную лампу 10, индицирующую работу электродвигателя; переключатель 13 для активации электроплитки; сигнальную лампу 9, отображающую состояние электроплитки; а также ручку 2, предназначенную для

регулировки скорости вращения вала электродвигателя с магнитом. В центральной части кожуха 5 расположена ключевая рабочая компонента – перемешивающий стержень 6, заключенный в полиэтиленовую оболочку. Данная конструктивная особенность обеспечивает защиту магнита 8 от явления саморазмагничивания.

Методика экспериментального исследования процесса деэмульсации НВЭ с применением магнитной мешалки состоит из трех основных стадий:

- 1) подготовка образца НВЭ;
- 2) проведение перемешивания на магнитной мешалке ММ-5 в контролируемых условиях;
- 3) последующая аналитическая обработка для количественного определения отделившейся водной фазы.

Процедура эксперимента выполняется в следующей последовательности.

1. На электронных весах с метрологической точностью 0,1 г производится взвешивание: в мерном стакане фиксируется масса нефти M_n , в другом стакане – масса воды M_v .

2. С помощью ареометра осуществляется определение плотности нефти ρ_n .

3. Подготовленные компоненты – нефть и вода – поступают в смесительную емкость для последующего гомогенизирования.

4. Активируется магнитная мешалка с установкой времени перемешивания 15 минут до достижения состояния однородной НВЭ. Образец помещается в химический стакан номинальным объемом 0,45 л, который устанавливается на рабочую платформу мешалки ММ-5. В процессе перемешивания обеспечивается контроль и поддержание температурного режима на уровне 27 °С, при этом параметры скорости и времени могут варьироваться в соответствии с задачами эксперимента.

5. На заключительном этапе проводится расчетное определение содержания водной фазы в НВЭ по формуле:

$$C_v = \frac{M_v}{M_{НВЭ}} = \frac{M_v}{M_n + M_v}, \quad (2)$$

где C_v – содержание воды в нефти; M_n – масса нефти; M_v – масса воды; $M_{НВЭ}$ – масса НВЭ.

6. С помощью указателей уровня на мерном стакане определяются моменты времени τ , в которые произошло полное отделение воды, т. е. уровень нефти над отстоявшейся водой достиг значения, определяемого по формуле:

$$H_n = \frac{H_{НВЭ} \rho_{НВЭ}}{\rho_n}, \quad (3)$$

где H_n – уровень нефти над отстоявшейся водой; $H_{НВЭ}$ – начальный уровень НВЭ; $\rho_{НВЭ}$ – плотность НВЭ; ρ_n – плотность нефти.

7. Рассчитывается эффективность деэмульсации по формуле, которая показывает, какая доля воды была удалена из НВЭ:

$$\eta_{эд} = \frac{V_{ов}}{V_{ив}} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где $V_{ов}$ – объем отстоявшейся воды; $V_{ив}$ – объем исходной воды в НВЭ.

8. Дополнительно можно оценить качество разделения фаз визуально. Например, чистая вода должна быть прозрачной, а нефть – без видимых капель воды.

Совместное воздействие мешалки и постоянного магнитного поля усиливает процесс коагуляции капель воды, существенно ускоряет процесс деэмульсации, что в результате сокращает время обезвоживания нефти и нефтепродуктов. Результаты предварительных экспериментов по разделению НВЭ в лабораторной установке на основе электромагнитной мешалки при разных значениях обводненности приведены на рис. 3. Обобщение экспериментальных и теоретических данных показало, что метод воздействия на НВЭ с магнитной мешалкой ММ-5 постоянным магнитным полем и центробежными силами инерции не менее эффективен, чем при воздействии электромагнитного поля. Расхождение экспериментальных данных не превышает 30 %, причем при содержании воды в НВЭ около 33 % эти данные практически совпадают. В дальнейшем предполагается более детальное исследование деэмульсации при различных условиях (интенсивности магнитного поля, температуры, скорости перемешивания и др.), чтобы найти оптимальный режим деэмульсации при совместном воздействии постоянного магнитного поля, а также поля центробежных сил, воздействующих на глобулы воды и вызывающих ускоренное их оседание за счет так называемого эффекта Эйнштейна и сопоставление полученных результатов с результатами других авторов [4, 8, 13, 16, 17].

Заключение

Краткий анализ существующих систем и разработок по магнитной деэмульсации показал, что НВЭ, подвергнутая магнитному воздействию, характеризуется гомогенностью, парамагнитной активностью и обладает меньшей вязкостью. Кроме того, применение магнитного поля позволяет не только дестабилизировать структуры нефтяных ассоциатов, образованные смолисто-асфальтовыми компонентами и кристаллическими парафинами, но и сохранить этот эффект в течение определенного времени. Актуальной задачей является выявление наиболее эффективных способов и методов разделения НВЭ, в т. ч. с применением переменных и постоянных магнитных полей.

Эксперименты наглядно продемонстрировали, что с увеличением обводненности НВЭ возрастает отношение скорости деэмульсации под действием электромагнитного поля как к гравитационному отстою, так и к отстою с подогревом. Воздействие электромагнитного поля увеличивает скорость осаждения частиц воды в нефти на величину в 2,7–4,2

раза. При увеличении обводненности нефти от 10 до 50 % повышается отношение скорости деэмульсации под действием электромагнитного поля к гравитационному отстаиванию при прочих равных условиях.

Установлено, что воздействие постоянного магнитного поля возбуждает оболочки бронирующих глобул нефти, что приводит к их разрыхлению и взаимному переориентированию в них соединений железа. В проведенных экспериментах

воздействие постоянного магнитного поля с использованием магнитной мешалки не менее эффективно, чем источников электромагнитного поля. В дальнейших исследованиях предполагается найти оптимальный режим деэмульсации при совместном воздействии постоянного магнитного поля, а также поля центробежных сил, воздействующих на глобулы воды и вызывающих ускоренное их оседание.

Список источников

1. Фазульзанов Р. Р., Елпидинский А. А., Гречухина А. А. Исследование деэмульгирующих и поверхностных свойств композиционных реагентов для нефтепромыслов // Вестн. Казан. гос. технолог. ун-та. 2011. № 10. С. 169–172.
2. Магадова Л. А., Силин М. А., Магадов В. Р. и др. Исследование углеводородных гелей на основе железных солей органических ортофосфорных эфиров, применяемых в технологии направленной кислотной обработки карбонатного пласта // Территория Нефтегаз. 2011. № 6. С. 34–37.
3. Ибрагимов Н. Г., Хафизов А. Р., Шайдаков В. В. и др. Осложнения в нефтедобыче. Уфа: Монография, 2003. 300 с.
4. Ермеев А. М., Елпидинский А. А. О применении магнитного поля в процессах разрушения водонефтяных эмульсий // Вестн. Казан. технолог. ун-та. 2013. Т. 16. № 2. С. 170–173.
5. Иношин Н. В., Ишемгузин Е. И., Каштанова Л. Е. и др. Аппараты для магнитной обработки жидкостей. Уфа: Реактив, 2000. 147 с.
6. Frenkel M., Danchuk V., Multanen V., Bormashenko E. Magnetic field inspired contact angle hysteresis drives floating polyolefin rafts // Colloid and Interface Science Communications. 2018. Vol. 22. P. 38–41.
7. Holysz L., Chibowski E., Szczes A. Influence of impurity ions and magnetic field on the properties of freshly precipitated calcium carbonate // Water research. 2003. Vol. 37. N. 14. P. 3351–3360.
8. Голубев И. А., Голубев А. В., Лаптев А. Б. Практика применения аппаратов магнитной обработки для интенсификации процессов первичной подготовки нефти // Зап. Гор. ин-та. 2020. Т. 245. С. 554–560.
9. Жилин Г. И., Шишкин Н. Д. Исследование термомагнитной деэмульсации нефти в лабораторной экспериментальной установке // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2013. № 2 (56). С. 21–24.
10. Мурсалов Е. Г. Совершенствование метода магнитной обработки водоуглеводородных дисперсных смесей в промысловых деэмульсаторах // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2007. № 6 (41). С. 49–53.
11. Мановян А. К. Технология первичной переработки нефти и природного газа. М.: Химия, 2001. 568 с.
12. Пивоварова Н. А. Интенсификация процессов переработки углеводородного сырья воздействием постоянного магнитного поля: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 2005. 52 с.
13. Лутошкин Г. С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды: учеб. для вузов. 3-е изд. стер. М.: Альянс, 2005. 319 с.
14. Уксусов А. С., Шишкин Н. Д. Исследование основных параметров лабораторной установки для электромагнитной деэмульсации нефти // Материалы 67-й Международ. студ. науч.-техн. конф. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2017. URL: <https://astu.ru/Content/Page/5833> (дата обращения: 01.11.2025).
15. Уксусов А. С., Шишкин Н. Д. Разработка учебно-исследовательской лабораторной установки для деэмульсации нефти // Материалы 68-й Международ. студ. науч.-техн. конф. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2018. URL: <https://astu.ru/Content/Page/5833> (дата обращения: 01.11.2025).
16. Гимазова Г. К., Вахитова А. К., Ермеев А. М., Елпидинский А. А. Изучение влияния магнитного поля на процесс обезвоживания нефтяных эмульсий // Вестн. Технолог. ун-та. 2015. Т. 18, № 8. С. 107–109.
17. Шайхулов А. М., Бойчук А. А., Докичев В. А. и др. Влияние магнитного поля на деэмульсацию водонефтяной эмульсии пласта А₄ Кенгопского месторождения // Нефтегаз. дело. 2014. Т. 12, № 1. С. 141–148.

References

1. Fazulzyanov R. R., Elpidinskij A. A., Grechukhina A. A. Issledovanie deehmul'giruyushchikh i poverkhnostnykh svoystv kompozicionnykh reagentov dlya neftepromyslov [Investigation of demulsifying and surface properties of composite reagents for oil fields]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, no. 10, pp. 169–172.
2. Magadova L. A., Silin M. A., Magadov V. R. i dr. Issledovanie uglevodородnykh gelej na osnove zheleznykh solej organicheskikh ortofosfornykh ehfirov, primenyayemykh v tekhnologii napravlennoy kislotnoy obrabotki karbonatnogo plasta [Investigation of hydrocarbon gels based on iron salts of organic orthophosphoric esters used in the technology of directed acid treatment of carbonate formations]. *Territoriya Neftegaz*, 2011, no. 6, pp. 34–37.
3. Ibragimov N. G., Khafizov A. R., Shajdakov V. V. i dr. *Oslozhneniya v neftedobyche* [Complications in oil production]. Ufa, Monografiya Publ., 2003. 300 p.
4. Ermeev A. M., Elpidinskij A. A. O primenenii magnetnogo polya v processakh razrusheniya vodonefityanykh ehmul'sij [On the application of a magnetic field in the processes of destruction of water-oil emulsions]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2013, vol. 16, no. 2, pp 170–173.

5. Inyushin N. V., Ishemguzhin E. I., Kashtanova L. E. i dr. *Apparaty dlya magnitnoj obrabotki zhidkostej* [Devices for magnetic treatment of liquids]. Ufa, Reaktiv Publ., 2000. 147 p.

6. Frenkel M., Danchuk V., Multanen V., Bormashenko E. Magnetic field inspired contact angle hysteresis drives floating polyolefin rafts. *Colloid and Interface Science Communications*, 2018, vol. 22, pp. 38-41.

7. Holysz L., Chibowski E., Szczes A. Influence of impurity ions and magnetic field on the properties of freshly precipitated calcium carbonate. *Water research*. 2003. vol. 37, no. 14, pp. 3351-3360.

8. Golubev I. A., Golubev A. V., Laptev A. B. Praktika primeneniya apparatov magnitnoj obrabotki dlya intensifikatsii processov pervichnoj podgotovki nefiti [The practice of using magnetic processing devices to intensify the processes of primary oil treatment]. *Zapiski Gornogo instituta*, 2020, vol. 245, pp. 554-560.

9. Zhilin G. I., Shishkin N. D. Issledovanie termomagnitnoj deehmul'sacii nefiti v laboratornoj ehksperimental'noj ustanovke [Investigation of thermomagnetic demulsification of oil in a laboratory experimental facility]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 2 (56), pp. 21-24.

10. Mursalov E. G. Sovershenstvovanie metoda magnitnoj obrabotki vodouglevodorodnykh dispersnykh smesey v promyslovyykh deehmul'satorakh [Improvement of the method of magnetic treatment of water-hydrocarbon dispersed mixtures in commercial demulsators]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2007, no. 6 (41), pp. 49-53.

11. Manovyan A. K. *Tekhnologiya pervichnoj pererabotki nefiti i prirodnogo gaza* [Technology of primary oil and natural gas processing]. Moscow, Khimiya Publ., 2001. 568 p.

12. Pivovarova N. A. *Intensifikatsiya processov pererabotki uglevodorodnogo syr'ya vozdeystviem postoyannogo magnitnogo polya: avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh*

nauk [Intensification of hydrocarbon processing processes under the influence of a permanent magnetic field: abstract of the dissertation... Doctor of Technical Sciences]. Moscow, 2005. 52 p.

13. Lutoshkin G. S. *Sbor i podgotovka nefiti, gaza i vody: uchebnik dlya vuzov* [Collection and preparation of oil, gas and water: a textbook for universities]. 3-e izdanie stereotipnoe Moscow, Al'yans Publ., 2005. 319 p.

14. Uksusov A. S., Shishkin N. D. Issledovanie osnovnykh parametrov laboratornoj ustanovki dlya ehlektromagnitnoj deehmul'sacii nefiti [Investigation of the main parameters of a laboratory installation for electromagnetic oil demulsification]. *Materialy 67-j Mezhdunarodnoj studencheskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Astrakhan', Izd-vo AGTU, 2017. Available at: <https://astu.ru/Content/Page/5833> (accessed: 01.11.2025).

15. Uksusov A. S., Shishkin N. D. Razrabotka uchebno-issledovatel'skoj laboratornoj ustanovki dlya deehmul'sacii nefiti [Development of an educational and research laboratory unit for oil demulsification]. *Materialy 67-j Mezhdunarodnoj studencheskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Astrakhan', Izd-vo AGTU, 2018. Available at: <https://astu.ru/Content/Page/5833> (accessed: 01.11.2025).

16. Gimazova G. K., Vakhitova A. K., Ermeev A. M., Elpidinskij A. A. Izuchenie vliyaniya magnitnogo polya na process obezvozhivaniya nefityanykh ehmul'sij [Study of the influence of the magnetic field on the process of dehydration of oil emulsions]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol. 18, no. 8, pp. 107-109.

17. Shajkhulov A. M., Bojchuk A. A., Dokichev V. A. i dr. Vliyanie magnitnogo polya na deehmul'saciyu vodoneftyanoj ehmul'sii plasta A₄ Kiengop'skogo mestorozhdeniya [The influence of a magnetic field on the demulsification of the water-oil emulsion of the A₄ formation of the Kiengop'skoye field]. *Neftegazovoe delo*, 2014, vol. 12, no. 1, pp. 141-148.

Статья поступила в редакцию 20.10.2025; одобрена после рецензирования 16.11.2025; принята к публикации 24.11.2025
The article was submitted 20.10.2025; approved after reviewing 16.11.2025; accepted for publication 24.11.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Николай Дмитриевич Шишкин – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; n.shishkin-53@mail.ru

Марина Александровна Марышева – кандидат технических наук; доцент кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; vjyuvfhbyf@mail.ru

Nikolay D. Shishkin – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; n.shishkin-53@mail.ru

Marina A. Marysheva – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; vjyuvfhbyf@mail.ru

