

УДК 665.622.43; 537.868

**М.Ю. Долوماتов** (Башкирский государственный университет, г. Уфа, Российская Федерация), **Р.С. Сабитов** (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация), **Р.М. Сафуанова, А.Г. Телин** (ООО «Уфимский научно-технический центр», г. Уфа, Российская Федерация)

## О РАЗРУШЕНИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

**M.Yu. Dolomatov** (Bashkir State University, Ufa, Russian Federation),  
**R.S. Sabitov** (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa,  
Russian Federation), **R.M. Safuanova, A.G. Telin** («UNTC» LLC, Ufa,  
Russian Federation)

### ON THE DESTRUCTION OF HYDROCARBON EMULSIONS UNDER THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

#### **Введение**

В обзоре обсуждается современное состояние экспериментальных и теоретических работ по влиянию электромагнитных полей на разрушение водоуглеводородных эмульсий. Рассмотрены результаты воздействия СВЧ- и ВЧ-излучений на эмульсии, обсуждается механизм процесса. Приводятся результаты опытно-промышленных работ по разрушению нефтешламных отходов с помощью ВЧ-устройств.

#### **Цели и задачи**

Сравнительный анализ механизмов разрушения водоуглеводородных эмульсий в результате воздействия СВЧ- и ВЧ-излучений и низкочастотного электромагнитного и постоянного магнитного полей.

#### **Результаты**

Показано влияние низкочастотного электромагнитного и постоянного магнитного полей на стабильность водонефтяных эмульсий. Отмечен синергизм совместного действия низкочастотного электромагнитного поля и деэмульгатора на разрушение обратных нефтяных эмульсий. Приводится гипотеза о резонансной дестабилизации водородных связей в мицеллярных структурах под действием низкочастотных электромагнитных излучений.

#### **Background**

The review discusses the current state of experimental and theoretical studies on the effect of electromagnetic fields on the destruction of hydrocarbon emulsions. The results of the action of microwave and HF radiation on the emulsion are considered, and the mechanism of the process is discussed. The results of pilot industrial works on the destruction of oil sludge waste by means of HF devices are given.

#### **Aims and Objectives**

Comparative analysis of the mechanisms of destruction of water-hydrocarbon emulsions as a result of exposure to microwave and HF emissions and low-frequency electromagnetic and permanent magnetic fields.

#### **Results**

The influence of low-frequency electromagnetic and permanent magnetic fields on the stability of water-oil emulsions is shown. A synergy of the combined effect of a low-frequency electromagnetic field and a demulsifier on the destruction of inverse oil emulsions was noted. The hypothesis about resonant destabilization of hydrogen bonds in micellar structures under the influence of low-frequency electromagnetic radiation is given.

**Ключевые слова:** эмульсия, степень дисперсности, электромагнитное поле, генератор излучений, деэмульсация, подготовка нефти

**Key words:** emulsion, degree of dispersion, electromagnetic field, radiation generator, demulsification, oil processing

Известно, что при добыче нефти скважинной продукцией являются микродисперсные водонефтяные эмульсии. Эмульсия представляет собой термодинамически неустойчивую дисперсную систему «углеводород - вода», где, по данным лазерной микроскопии, размер частиц находится в пределах от 1,6 до 280,0 мкм [1]. Концентрация водной фазы в эмульсиях находится в пределах от 4 % об. до 95 % об. [2].

Несмотря на то, что эмульсии из-за разной плотности составляющих фаз являются термодинамически неустойчивыми, фактически без применения какого-либо воздействия некоторые из них могут существовать сколь угодно долго. В данном случае имеет место так называемая кинетическая устойчивость, которая объясняется равновесием сил тяжести и броуновского движения. Следовательно, чем выше степень дисперсности, тем больше кинетическая устойчивость эмульсии.

По Г.Н. Позднышеву, все нефтяные эмульсии делятся на три группы [3]:

1) *вода в нефти* - гидрофобная эмульсия (обратная). Это основной тип эмульсии, с которым сталкиваются в нефтепромысловой практике. Концентрация дисперсной фазы (воды) в дисперсионной среде (нефти) лежит в пределах от 10 % до 95 %;

2) *нефть в воде* - гидрофильная эмульсия (прямая). Данный тип эмульсии образуется в основном во время разрушения обратных эмульсий, то есть при деэмульсации нефти. Свойства такого типа эмульсий учитывают при разработке технологии и техники очистки и подготовки нефтепромысловых сточных вод;

3) *«множественная» эмульсия* содержит значительное количество механических примесей. Такой тип трудноразрушаемых

эмульсий негативно влияет на технологический процесс подготовки нефти.

Образование эмульсии протекает самопроизвольно или в результате работы внешних сил, к примеру, при перемешивании. Самопроизвольное эмульгирование протекает при малых значениях поверхностного натяжения на границах раздела двух жидкостей (менее сотой доли мН/м) и приводит к образованию термодинамически равновесных микрогетерогенных эмульсий (микроэмульсий). Они применяются для увеличения нефтеотдачи в технологиях полимерномицеллярного и мицеллярного заводнения [4].

Для механического создания эмульсий используют диспергаторы и гомогенизаторы различных конструкций. В нефтепромысловой практике эмульсии часто образуются при диспергировании нефти и воды в погружных насосах, в частности, на лопаточках ЭЦН, ШГН, а также при разгазировании нефти. В [5] приведена информация об образовании обратных водонефтяных эмульсий.

В данной работе для исследования соотношения воды и нефти было выбрано равным 75:25. С целью получения эмульсии заданного состава авторами было изготовлено специальное лопастное «турбулизирующее колесо», диаметр которого был близок диаметру рабочего колеса ЭЦН (68 мм). В этом случае образование эмульсии происходило при скорости вращения 1200 об./мин. В этих экспериментах с точностью до секунды авторами регистрировался момент обращения фаз. По данному методу были получены высококонцентрированные обратные водонефтяные эмульсии с предельной концентрацией водной фазы 75 %. Реологические свойства полученных эмульсий подробно изучены. В статье также приведена формула, свидетель-

ствующая о гиперболической зависимости частоты вращения мешалки от времени, необходимого для образования обратных эмульсий.

В академическом обзоре [6] детально рассматриваются физико-химические принципы устойчивости различных водоуглеводородных эмульсий.

Необходимо отметить, что при образовании водоуглеводородных эмульсий происходит резкое увеличение вязкости, что влечёт за собой увеличение расходов на транспортировку нефти по внутрипромысловым трубопроводам [7].

Для приближенной оценки вязкости эмульсий применима формула Монсона [8]:

$$\mu_{\text{э}} = \mu_{\text{д.с}} (1 + 2,5 \cdot \varphi_{\text{д.ф.}} + 9,3 \cdot \varphi_{\text{д.ф.}}^2 + 50 \cdot \varphi_{\text{д.ф.}}^3), \quad (1)$$

где  $\mu_{\text{э}}$  - вязкость эмульсии, Па·с;

$\mu_{\text{д.с}}$  - вязкость дисперсионной среды, Па·с;

$\varphi_{\text{д.ф.}}$  - содержание дисперсной фазы в системе об.;

$\mu_{\text{д.с}}$  - содержание дисперсионной среды в системе (об.).

Формула (1) ограничена для эмульсии с содержанием дисперсной фазы не более 60-70 % об.

Согласно ГОСТ [9], первой (высшей) группе подготовки нефти соответствует концентрация воды в нефти не более 0,5 % масс., а концентрация хлористых солей - 100 мг/дм<sup>3</sup>. Следовательно, разрушение эмульсий и подготовка нефти определённого качества всегда является актуальной задачей в нефтегазовом производстве. Для разрушения эмульсий используют различные методы, среди которых выделяют несколько промышленных способов: 1) химические методы; 2) термические методы; 3) осаждение под действием сил тяжести или центробежных сил; 4) процесс фильтрации, который основан на селективном смачивании; 5) воздействие электромагнитными полями; 6) комбинированные методы.

В нефтяной промышленности самым распространённым из известных методов разделения эмульсий на нефть и воду явля-

ется термохимическая деэмульсация. При этом тратится тепло и огромное количество дорогостоящих деэмульгаторов, дозировка которых обычно колеблется в пределах от 20 до 200 г/т. С учётом объёмов добычи нефти это представляет собой очень большую величину и вносит весомый вклад в себестоимость подготовленной нефти. Поэтому разработка альтернативных, менее затратных и промышленно применимых методов разделения нефтяных эмульсий является важной задачей.

В данной статье проведен обзор исследований по разрушению водонефтяных дисперсных систем под действием электромагнитных полей. Данный подход является перспективным и быстроразвивающимся в последние годы, причём развиваются как энергозатратные сверхвысокочастотные (СВЧ) и высокочастотные (ВЧ) методы воздействия, так и низкочастотные путём облучения электромагнитным полем низкой частоты и постоянным магнитным.

#### *Влияние СВЧ- и ВЧ-электромагнитных полей на стабильность эмульсий*

СВЧ- и ВЧ-методы основаны на явлении разогрева эмульсий электромагнитными волнами. Частоты СВЧ- и ВЧ-электромагнитных полей лежат в диапазоне 3-30 ГГц и 3-30 МГц соответственно. В настоящий момент предложены два механизма воздействия СВЧ-поля на вещество [10]. Первый механизм обусловлен присутствием в веществе диполей, которые при действии СВЧ-поля приобретают определённую ориентацию. При увеличении мощности СВЧ-поля степень ориентации диполей возрастает, а при уменьшении мощности наблюдается восстановление хаотичности колебательного и вращательного движения молекул, за счёт чего вещество и нагревается. Второй механизм обусловлен проводимостью, характерной для водных растворов, содержащих ионы электролитов. При воздействии СВЧ-поля происходит движение ионов, приводящее к нагреву водной среды. СВЧ-нагревание эмульсий более предпочтительно, чем прямое нагревание [11], так как нагревается ак-

тивная к СВЧ-излучению часть среды, и это приводит к дестабилизации водонефтяной системы, которая в дальнейшем будет расслаиваться. Таким образом, при применении СВЧ-поля достигается лучшее разделение по сравнению с обычным нагреванием, которое объясняется тем, что СВЧ-поле действует селективно относительно водяных капель или глобул воды, и нагревание в СВЧ-поле происходит в объеме всей дисперсионной среды. В фундаментальной работе Нигматулина Р.И. и др. [12] сформулирована теория воздействия СВЧ на эмульсии с применением термодинамики и электродинамики. Авторами рассмотрены явления переноса массы и энергии в дисперсной среде при воздействии ВЧ-поля. Было установлено, что наряду с диффузией в системе имеет место электротермомодиффузионный перенос вещества, который значительно превышает термомодиффузионные процессы. На основе экспериментальных данных и математического моделирования изучено взаимодействие поля с микрочастицами эмульсии.

Исходя из полученных данных и численного моделирования, установлено, что в случае конвективно-диффузионного переноса суммарный термо- и электротермомодиффузионный коэффициент существенно превышает термомодиффузионный. По-видимому, при наложении ВЧ на эмульсионную систему большая часть энергии поглощается дисперсными частицами системы, вызывая тем самым увеличение температуры среды.

Саяховым Ф.Л. и сотрудниками [13] на основе теоретических и экспериментальных исследований предложен ряд технических решений, например, установка с устройством ввода ВЧ-энергии, позволяющая осуществить одновременную обработку водонефтяных эмульсий СВЧ- и ВЧ-полями в рабочем объеме установки. Следует отметить, что у данной установки длина электрода кратна длине электромагнитной волны в эмульсии, а высокопотенциальный электрод, размещенный по оси, покрыт слоем диэлектрика, что позволяет интенсифицировать процесс путём снижения агрегативной устойчивости эмульсии. Аналогичная установка для разрушения эмульсии описана в [14]. Для повышения эф-

фективности дезэмульсации путём снижения агрегативной устойчивости эмульсии, установка снабжена генератором СВЧ-поля, а также волноводом с прямоугольным сечением, один из концов которого размещён внутри электрода, а другой конец соединяется с СВЧ-генератором.

В работе [15] рассматривается влияние СВЧ-поля на эмульсию типа «вода в масле» при высоких скоростях потока, в том числе в зоне турбулентности, когда коэффициент Рейнольдса больше 2100 [16]. В данной работе было отмечено, что при увеличении скорости потока до 9-12 л/мин при критерии Рейнольдса  $Re > 2100$  резко возрастает время отстаивания, а при низких скоростях ( $w = 1-6$  л/мин) наблюдается обратный эффект. Это объясняется уменьшением турбулентности и, следовательно, отсутствием перемешивания всей среды. При увеличении мощности поля с 3 до 12 кВт и скорости потока наилучший эффект разделения эмульсии достигается при минимальной скорости в 6 л/мин и максимальной мощности СВЧ-поля 12 кВт. В работе Ковалёвой Л.А. с соавторами [17] приведено исследование модели поведения глобулы водонефтяной эмульсии в СВЧ-поле. Авторами было обнаружено, что при увеличении температуры увеличивается скорость осаждения глобул воды. Это связано с уменьшением вязкости среды.

Согласно [18], эксперимент по определению температуры водяных глобул в эмульсионной системе при воздействии СВЧ-поля проводили с использованием родамина Б, растворенного в водной фазе. Интенсивность люминесценции родамина Б прямо пропорциональна температуре в эмульсии. В результате эксперимента была получена зависимость «время - температура» индивидуальных микрокапель воды в эмульсии при микроволновом воздействии, что может быть использовано для получения математической модели.

В [13-15] показано, что на осаждение капель из системы влияют скорость потока и мощность СВЧ-поля, приводящие к более быстрому нагреву капель. Исследование влияния СВЧ-поля на коалесценцию глобул воды в присутствии неорганических солей

различной природы описывается в [19]. Наибольший эффект разрушения эмульсий достигнут при концентрации ацетата натрия 0,4-0,5 М. Влияние солей на глубину осаждения может быть связано с увеличением диэлектрической проницаемости раствора, то есть при наложении СВЧ-поля вещество поляризуется, вызывая более интенсивное нагревание капель воды и взаимодействие глобул. В работе [20] приводится один из возможных механизмов разрушения эмульсий в СВЧ-поле. Показано, что волны СВЧ-поля способствуют не только нагреву и снижению вязкости системы, но и усиливают процесс коалесценции. Увеличение температуры влияет на снижение межфазного поверхностного натяжения. Согласно данной работе на вероятность осаждения влияет диэлектрическая проницаемость, которая зависит от содержания солей в системе.

Ковалёвой Л.А. и др. [21] исследован механизм разделения эмульсии водоуглеродородной системы под влиянием СВЧ-поля. Показано, что при возрастании мощности СВЧ-поля также увеличивается температура, которая в свою очередь приводит к разрушению или растворению защитного слоя, представляющего из себя природные стабилизаторы эмульсий.

Авторами [22] проведено исследование влияния ВЧ- и СВЧ-полей на стабильность эмульсий. Обнаружено, что на эффективность разрушения эмульсии влияет бронирующая оболочка, толщина которой достигает 100 нм и содержит полярные компоненты нефти (асфальтены и смолы). Показано, что при минимальных значениях толщины бронирующих оболочек происходит их разрушение и дальнейшее слияние капель. При больших значениях толщины бронирующего слоя эффект воздействия СВЧ-поля приводит к диспергированию капель воды (к появлению «облака» в нефтяной фазе), что является абсолютно обратным эффектом процессу деэмульсации. Также исследовано влияние статического и динамического полей на стабильность водонефтяных дисперсных систем. Обнаружено, что при применении динамического поля деэмульсация идёт быстрее.

По-видимому, это связано с быстрой поляризацией микрочастиц и, следовательно, их нагреванием, что приводит к разрушению эмульсии.

В [23] показано, что СВЧ-поле заменяет химические реагенты-деэмульгаторы.

Касаясь промышленно реализованных технологий разрушения эмульсий путём ВЧ- и СВЧ-воздействий, можно констатировать, что в промышленно развитых странах (прежде всего в США) разработаны и внедряются различные микроволновые системы для переработки трудноразрушаемых эмульсионных нефтешламов. В частности, компания «Imperial Recovery Corp.» (г. Стаффорд, США) использует СВЧ-воздействие перед обработкой на триканторе и последующем отстаиванием. При этом степень извлечения нефти достигает 98 %. Подобные промышленные установки работают на нефтеперерабатывающих заводах компании «Exxon Mobil Corp.» (Калифорния, США).

В России в ОАО «Тантал» (г. Саратов) в 1994-2000 гг. разработаны и испытаны микроволновые установки для утилизации нефтешламов из буровых растворов.

Под руководством Л.А. Ковалёвой и Р.З. Минигалимова [24] создана и испытана в промышленных условиях интегрированная технология переработки нефтешламов методом компаундирования и обработки СВЧ-электромагнитным полем. Принцип действия и конструктивные особенности установки подробно описаны в монографии [24].

Таким образом, резюмируя вышеизложенное, можно утверждать, что применение ВЧ- и СВЧ-воздействий на эмульсии весьма перспективно для широкого применения в нефтяной промышленности. На сегодняшний день разработаны теоретические основы метода. Существуют технические решения для его промышленной реализации, и имеются успешно внедрённые проекты.

На взгляд авторов настоящего обзора, вопрос о внедрении ВЧ- и СВЧ-методов сегодня лежит в экономической плоскости, а именно, что будет дешевле: применение традиционного термохимического метода или воздействие ВЧ- и СВЧ-полями.



Другим перспективным направлением внедрения микроволновых технологий является их использование в решении специальных задач, с которыми постоянно сталкиваются работники нефтесборных парков. Речь идёт о разрушении промысловых и ловушечных эмульсий, которые доставляют немало хлопот работникам центральных пунктов подготовки нефти.

*Влияние низкочастотного электромагнитного и постоянного магнитного полей на стабильность водонефтяных эмульсий*

Установлено, что дестабилизировать эмульсии можно также наложением на дисперсную систему низкочастотного электромагнитного и постоянного магнитного полей. Очевидно, что при наложении направленного магнитного поля на жидкость последняя становится более структурированной, что приводит к увеличению интенсивности молекулярных взаимодействий, увеличивается скорость коагуляции дисперсных частиц системы [25]. Согласно гипотезе В.И. Классена [25], магнитное поле, действующее на водную среду, разрушает в ней коллоидные частицы: «осколки» способствуют образованию центров кристаллизации малорастворимых солей. В водной системе, прошедшей магнитную обработку, будет наблюдаться процесс ускоренного эффекта кристаллизации минеральных солей, что будет приводить к снижению размеров кристаллов солей кальция и магния.

Влияние магнитного поля на нефтепромысловые жидкости детально изучено в исследованиях В.И. Лесина [26, 27], где показано, что сущность обработки асфальтосмолопарафиновых отложений, нефтепромысловых жидкостей и воды заключается в том, что происходит разрушение надмолекулярных агрегатов железа под влиянием магнитного поля или из-за влияния парамагнитных частиц, находящихся в коллоидных мицеллах, взаимодействующих с внешним магнитным полем. В [31] определены структура и состав присутствующих коллоидных частиц в составе парафина, который был взят из добывающей скважины. Установлено, что до плавления

образца в углеводородной системе присутствует железо, и наблюдается эффект, указывающий на ферромагнитный характер магнетизма и на достаточную намагниченность находящихся в образце частиц. После нагрева образца образуются агрегаты в результате роста размеров магнитных наночастиц. Исследование агрегатов показывает, что они состоят из наночастиц оксидов железа и частиц нефтяной системы (смола, асфальтены, алифатических углеводородов и др.) По данным анализа агрегаты имеют фрактальную структуру. Также показано, что наночастицы железа представлены кристаллической структурой маггемита ( $\gamma\text{-Fe}_3\text{O}_4$ ) и магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

В [29] сформулирована модель, позволяющая дать оценку скорости расслоения эмульсии и степени дисперсности водяных капель в ней.

Авторы работы [30] приводят данные о влиянии магнитного поля в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ). Так, добавление ПАВ-деэмульгаторов способствует интенсификации деэмульсации. Было установлено, что в отсутствие магнитного поля эффективность обезвоживания снижается в несколько раз по сравнению с использованием магнитного поля и деэмульгаторов одновременно. Это позволяет заключить, что воздействие магнитного поля усиливает процессы дестабилизации сольватных оболочек, образованных природными стабилизаторами.

В исследованиях Доломатова М.Ю. [31] описывается возможный механизм разрушения эмульсии под действием низкочастотного электромагнитного поля и деэмульгатора, заключающийся в резонансной дестабилизации водородных связей в водных глобулах. В работе Телина А.Г. с сотрудниками [32] установлено, что при использовании деэмульгаторов и низкочастотного электромагнитного поля остаточная обводненность уменьшается на 40-49 %, и при этом снижаются дозировка деэмульгатора, температура процесса и время отстоя. Гипотеза о резонансном влиянии низкочастотного электромагнитного поля на стабильность эмульсий также выдвигается Доломатовым М.Ю. и др. в [33]. По этой гипотезе переменное электромагнитное поле вы-

зывает резонанс водородных связей, ответственных за устойчивость сольватных оболочек частиц, образующих эмульсию. В основе процесса дестабилизации эмульсии допускатся следующий механизм: 1) стабилизация эмульсии происходит за счет слабых водородных связей на межфазной границе раздела «вода - углеводород»; 2) в результате взаимодействия магнитного поля с диполями слабых водородных связей в эмульсиях происходит ангармонический резонанс водородных связей; 3) мицеллы становятся источником вторичного низкочастотного магнитного поля и способствуют дестабилизации всей системы; 4) время, за которое протекает процесс разрушения, соизмеримо со временем релаксации слабых межмолекулярных (водородных) связей, то есть процесс является быстрым.

Учитывая, что колеблющийся диполь является источником электромагнитного поля, для расчёта излучаемой энергии авторами было предложено выражение по определению среднего значения энергии, которая излучается осциллятором (водородными связями) в единицу времени:

$$W = \frac{16v^2 4\pi^2 4e^2 a_0^2}{3c^3} = \frac{16v^2 4\pi^2}{3c^3} P^2, \quad (2)$$

где  $c$  - скорость света  $299\,792\,458 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ;  
 $e$  - заряд электрона  $1,60218 \times 10^{-19} \text{ Кл}$ ;  
 $v$  - частота колебаний, Гц;  
 $a_0$ ,  $P$  - амплитуда и дипольный момент осциллятора соответственно.

Интересный подход к разрушению эмульсий с помощью магнитного поля описан в работе [34], в которой представлен новый метод магнитоэлектростатической коалесценции, заключающийся во введении магнитной добавки в дисперсную фазу эмульсии и использовании магнитного поля для коалесценции магнитной фазы и разрушения эмульсии. В качестве магнитных добавок применялись лигносульфонат и нафтенат железа.

Приведены конструкции аппаратов непрерывного действия.

Показан синергетический эффект от воздействия поля и деэмульгатора.

О несомненно успешном промышленном эксперименте сообщается в работе [35], где описано разрушение промежуточных слоёв в отстойных аппаратах НСП-1 «Сергеевка» НГДУ «Уфанефть».

Показано, что применение импульсного магнитного поля позволило сначала снизить толщину промежуточного слоя, а затем полностью его ликвидировать.

Исследование влияния магнитного поля на деформацию капель приводится в [36]. Показано, что при воздействии низкочастотного поля на капли магнитной жидкости происходит их сплющивание, а при воздействии высокочастотного поля капли магнитной жидкости вытягиваются. При вращении магнитного поля низкой частоты происходит вытяжение капель, а при высокочастотном поле микрокапли сплющиваются.

В работе Пивоваровой Н.А. и др. [37] водонефтяная система рассмотрена с точки зрения теории нефтяных дисперсных систем, мицеллы которых состоят из ядра и сольватной оболочки. Показано, что прочность межфазных слоёв имеет экстремальный характер, который зависит от концентрации смол и асфальтенов. Воздействие магнитного поля на систему, в которую добавлен деэмульгатор, способствует интенсификации процесса. Установлено [38], что воздействие импульсного магнитного поля приводит к слиянию капель. Выявлены закономерности, позволяющие определить время, необходимое для уменьшения дисперсности и качественно оценить время деэмульсации в зависимости от внешних факторов. При этом имеются данные [39, 40], что при действии магнитного поля снижается действие коррозии на трубопроводы на 40 % и кроме того достигается разделение эмульсий на 20-30 %. Обработка водонефтяных эмульсий переменным магнитным полем приводит к увеличению выделенной водной фазы до 50 %, что более эффективно, чем при использовании постоянного магнитного поля. Было отмечено, что при воздействии переменного магнитного поля глобула воды вытягивается, наблюдается растяжение сольватной оболочки, из-за чего асфальтеновые и парафиновые слои разрушаются [41].

В монографиях [42, 43] обобщены данные по конструктивным особенностям аппаратов для магнитных обработок жидкостей с целью снижения скорости коррозии, солеотложений и деэмульсации. Приводятся примеры промышленно реализованных способов разделения эмульсий под действием магнитного поля и деэмульгатора.

Необходимо отметить, что внедрению в нефтепромысловую практику низкочастотных электромагнитных полей всегда препятствуют осложнения, связанные с масштабированием процесса от лабораторного эксперимента к промышленному объекту. Плохая воспроизводимость прямого переноса оптимизированных в лабораторных условиях технологических параметров диктует необходимость дополнительной настройки процесса при промышленных испытаниях. Кроме того, развитие данного направления сдерживается отсутствием прогностической теории, которая позволяла хотя бы на качественном уровне предсказывать реакцию водонефтяных эмульсий на облучение низкочастотным электромагнитным полем (в зависимости от свойств и состава эмульсии, содержания в

ней природных стабилизаторов, а также параметров генератора электромагнитных излучений).

#### Выводы

Таким образом, подытоживая настоящий обзор, надо отметить, что действия СВЧ-, ВЧ-воздействий и низкочастотного электромагнитного и постоянного магнитного полей принципиально различаются. Если в первом случае влияние оказывает локальный разогрев эмульсии за счёт увеличения кинетической энергии частиц, то во втором наблюдается резонансная дестабилизация эмульсий за счёт разрушения водородных связей сольватной оболочки мицелл.

И хотя, как было отмечено ранее, использование в нефтепромысловой практике устройств, излучающих низкочастотные электромагнитные поля, ещё весьма далеко до своего реального внедрения, тем не менее экспериментальные исследования и их теоретическое осмысление в настоящее время нуждаются в продолжении и развитии, так как с технико-экономической точки зрения данное направление выглядит очень привлекательным и перспективным.

#### Список литературы

1. Boxall J.A., Koh C.A., Sloan E.D., Sum A.K., Wu. D.T. Measurement and Calibration of Droplet Size Distributions in Water-in-Oil Emulsions by Particle Video Microscope and a Focused Beam Reflectance Method // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2009. № 49. P. 1412-1418.
2. Технология переработки нефти / Под ред. О.Ф. Глаголевой, В.М. Капустина. М.: КолосС, 2006. Ч. 1. 400 с.
3. Позднышев Г.Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. М.: Недра, 1982. 222 с.
4. Сургучев М.Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов / М.Л. Сургучев. М.: Недра, 1985. 308 с.
5. Ахметов А., Телин А., Корнилов А. Дисперсионные и реологические свойства обратных водонефтяных эмульсий на основе нефтей Приобского и Мамонтовского месторождений // *Научно-технический вестник ЮКОС*. 2004. № 9. С. 43-50.

#### References

1. Boxall J.A., Koh C.A., Sloan E.D., Sum A.K., Wu. D.T. Measurement and Calibration of Droplet Size Distributions in Water-in-Oil Emulsions by Particle Video Microscope and a Focused Beam Reflectance Method. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2009, No. 49, pp. 1412-1418.
2. *Tekhnologiya pererabotki nefi* [Technology of Oil Refining]. Ed. O.F. Glagoleva, V.M. Kapustin. Moscow, KolosS, 2006, Ch. 1. 400 p. (in Russ.).
3. Pozdnyshv G.N. *Stabilizatsiya i razrushenie neftyanykh emul'sii* [Stabilization and Destruction of Oil Emulsions]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 222 p. (in Russ.).
4. Surguchev M.L. *Vtorichnye i tretichnye metody uvelicheniya nefteotdachi plastov* [Secondary and Tertiary Methods of Enhanced Oil Recovery]. Moscow, Nedra, 1985. 308 p. (in Russ.).
5. Akhmetov A., Telin A., Kornilov A. Dispersionnye i reologicheskie svoistva obratnykh vodonefityanykh emul'sii na osnove neftei Priobskogo



6. Бабак В. Г. Высококцентрированные эмульсии. Физико-химические принципы получения и устойчивость // Успехи химии. 2008. Т. 77, Вып. 8. С. 729-755.
7. Разработка нефтяных месторождений: в 4 т. / С. В. Муравленко, В. Н. Артемьев, Н. И. Хисамутдинов и др.; под ред. Н. И. Хисамутдинова и Г. З. Ибрагимова. М.: ВНИИОЭНГ, 1994. Т. 3: Сбор и подготовка промысловой продукции. 149 с.
8. Борисевич Ю.П. Моделирование процесса разрушения обратных водонефтяных эмульсий методом холодного отстоя // Естественные и технические науки. 2015. № 2 (80). С. 172-179.
9. ГОСТ Р 51858-2002. Нефть. Общие технические условия. М.: Госстандарт России, 2002. 16 с.
10. Мышкин В.Ю., Власов В.А., Хан В.А. и др. Структура и свойства воды, облученной СВЧ излучением // Политематический сетевой электронный науч. журнал КубГАУ. 2012. № 81. С. 64-75.
11. Мастобаев Б.Н., Шаммазов А.М., Мовсумзаде Э.М. Химические средства и технологии в трубопроводном транспорте нефти. М.: Химия, 2002. 295 с.
12. Нигматулин Р.И., Саяхов Ф.Л., Ковалева Л.А. Перекрестные явления переноса в дисперсных системах, взаимодействующих с высокочастотным электромагнитным полем // РАН. 2001. Т. 377, Вып. 3. С. 340-343.
13. А.с. 700163 СССР, МПК В 01 D 17/06, С 10 G 33/02. Установка для разрушения водонефтяной эмульсии / Ф.Л. Саяхов, В.С. Хахимов, А.И. Арутюнов, А.А. Демьянов, В.П. Дыбленко. Опубл. 30.11.79, Бюл. № 44.
14. А.с. 749399 СССР, МПК В 01 D 17/06, С 10 G 33/02. Установка для разрушения эмульсии / Ф.Л. Саяхов, В.С. Хахимов, А.И. Арутюнов, А.А. Демьянов, Ф.Л. Минхайров. Опубл. 23.07.80; Бюл. № 27.
15. Binner E.R. Separation of Oil/Water Emulsions in Continuous Flow Using Microwave Heating // J. Energy & Fuels. 2013. № 27. P. 3173-3178.
16. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971. 753 с.
17. Fatkhullina Y.I., Musin A.A., Kovaleva L.A., Akhatov I.S. Mathematical Modeling of a Water-in-Oil Emulsion Droplet Behavior under the Microwave Impact // Journal of Physics Conference Series. 2015. № 574 (1). P. 1-7.
18. Kovaleva L.A. e.a. Determination of Temperature in an Emulsion Drop under Microwave Radiation // High Temperature. 2015. Т. 53, № 4. P. 592-594.
19. Saifuddin N. Separation of Water from very Stable Water-in-Oil Emulsion Using Microwave Radiation with Presence of Inorganic Salts // International Journal of Chemistry. 2014. № 35. P. 1512-1521.
20. Binner E.R., Robinson J.P., Silvester S.A., Kingman S.W., Lester E.H. Investigation into the Mechanisms by which Microwave Heating Enhances Separation of Water-in-Oil Emulsions // Fuel. 2014. № 116. P. 516-521.
- i Mamontovskogo mestorozhdenii [Dispersion and Rheological Properties of Reverse Water-Oil Emulsions Based on Oils of Priobskoye and Mamontovskoye Deposits]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik YuKOS - Scientific and Technical Herald of YUKOS*, 2004, No. 9, pp. 43-50. (in Russ.).
6. Babak V.G. Vysokokontsentrirrovannye emul'sii. Fiziko-khimicheskie printsipy polucheniya i ustoichivost' [Highly Concentrated Emulsions. Physicochemical Principles of the Preparation and Stability]. *Uspekhi khimii - Russian Chemical Reviews*, 2008, T. 77, Issue 8, pp. 729-755. (in Russ.).
7. Muravlenko S.V., Artem'ev V.N., Khisamutdinov N.I. e.a. *Razrabotka neftyanykh mestorozhdenii: v 4 t.* [Development of Oil Deposits: in 4 T.]. Moscow, VNIIOENG, 1994, T. 3: Sbor i podgotovka promyslovoi produktsii [Collection and Preparation of Commercial Products]. 149 p. (in Russ.).
8. Borisevich Yu.P. Modelirovanie protsessa razrusheniya obratnykh vodonefityanykh emul'sii metodom kholodnogo otstoya [The Modeling of Reverse-Water-Oil Emulsions Breaking by Cold Stack]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki - Natural and Technical Sciences*, 2015, No. 2 (80), pp. 172-179. (in Russ.).
9. *GOST R 51858-2002. Neft'. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [State Standard R 51858-2002. Oil. General Specifications]. Moscow, Gosstandart Rossii, 2002. 16 p. (in Russ.).
10. Myshkin V.Yu., Vlasov V.A., Khan V.A., Shiyan L.N., Polchenko V.S. Struktura i svoistva vody, obluchennoi SVCh izlucheniem [Structure and Properties of Water Activated by a Microwave Radiation]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal KubGAU - Polytechnical Network Electronic Scientific Journal of KubSAU*, 2012, No. 81, pp. 64-75. (in Russ.).
11. Mastobaev B.N., Shammazov A.M., Movsumzade E.M. *Khimicheskie sredstva i tekhnologii v truboprovodnom transporte nefiti* [Chemical Means and Technologies in Pipeline Oil Transportation]. Moscow, Khimiya Publ., 2002. 295 p. (in Russ.).
12. Nigmatulin R.I., Sayakhov F.L., Kovaleva L.A. Perekrestnye yavleniya perenosa v dispersnykh sistemakh, vzaimodeistvuyushchikh s vysokochastotnym elektromagnitnym polem [Cross-Transfer Phenomena in Disperse Systems Interacting with a High-Frequency Electromagnetic Field]. *RAN - RAS*, 2001, T. 377, Issue 3, pp. 340-343. (in Russ.).
13. Sayakhov F.L., Khakimov B.C., Arutyunov A.I., Dem'yanov A.A., Dyblenko V.P. *Ustanovka dlya razrusheniya vodonefityanoi emul'sii* [Installation for the Destruction of Water-Oil Emulsion]. Certificate of Authorship, USSR, No. 700163, 1979. (in Russ.).
14. Sayakhov F.L., Khakimov B.C., Arutyunov A.I., Dem'yanov A.A., Minkhairov F.L. *Ustanovka dlya razrusheniya emul'sii* [Installation for the Destruction of Emulsion]. Certificate of Authorship, USSR, No. 749399, 1980. (in Russ.).

21. Kovaleva L.A., Minnigalimov R.Z., Zinnatullin R.R. Destruction of Water-in-Oil Emulsions in Radio-Frequency and Microwave Electromagnetic Fields // *Energy & Fuels*. 2011. № 25. P. 3731-3738.
22. Ковалева Л.А., Зиннатуллин Р.Р., Мусин А.А., Фатхуллина Ю.И. Применение ВЧ и СВЧ электромагнитных полей при подготовке нефти и переработке нефтяных шламов // *Электронный научный журнал «Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика»*. URL: [http://oilgasjournal.ru/vol\\_5/kovaleva.html](http://oilgasjournal.ru/vol_5/kovaleva.html).
23. Abdurahman H.N., Rosli M.Yu., Azhary H.N. Demulsification of Water-in-Oil Emulsions by Microwave Heating Technology // *International Journal of Chemical*. 2010. Vol. 4, No. 2. P. 170-175.
24. Ковалёва Л.А., Миннигалимов Р.З., Зиннатуллин Р.Р. Разрушение водонефтяных и нефтешламовых эмульсий электромагнитными полями. Уфа: БашГУ, 2013. 164 с.
25. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1988. 240 с.
26. Лесин В.И. Физико-химический механизм обработки воды магнитным полем // *Экватэк: сб. докл. 5 Междунар. конгресса 4-7 июня 2002 г. М., 2002. С. 371*.
27. Лесин В.И., Дюнин А.Г., Хавкин А.Я. Изменение физико-химических свойств водных растворов под влиянием электромагнитного поля // *Журнал физической химии*. 1993. Т. 67. № 7. С. 1561-1562.
28. Лесин В.И., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б. Структура совместных агрегатов коллоидных наночастиц нефти и магнитных наночастиц оксидов железа // *Электронный научный журнал «Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика»*. URL: <http://oilgasjournal.ru/2009-1/4-rubric/lesin.html>.
29. Закирьянова Г.Т., Ковалева Л.А., Насыров Н.М. Исследование процессов тепломассопереноса и динамики расслоения эмульсии при воздействии электрических полей // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Математика. Механика. Физика*. 2009. Т. 155, № 22. С. 59-65.
30. Wei Wu, Hui Fang, Fangyuan Yang, Shunli Chen, Xuefeng Zhu, Qunhui Yuan, Wei Gan. Understanding the Different Steps of Surfactant Adsorption at the Oil-Water Interface with Second Harmonic Generation // *The Journal of Physical Chemistry*. 2016. 120 (12). P. 6515-6523.
31. Доломатов М.Ю., Телин А.Г., Сафуанова Р.М., Борисов Г.К., Бурханова З.И., Кисмерешкин Г.К., Докичев В.А. Резонансная колебательная деструкция водородных связей как причина метастабильности эмульсий под действием магнитного поля // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2014. № 3. С. 114-123.
32. Телин А.Г., Крестелёва И.В., Борисов Г.К., Докичев В.А., Свирский В.Е., Кулешов С.П., Шайдуллин Ф.Д., Бурханова В.И., Алимбекова С.Р. О влиянии низкочастотного магнитного поля на деэмульсацию стойких водонефтяных эмульсий // *Нефть. Газ. Новации*. 2013. № 8. С. 68-72.
15. Binner E.R. Separation of Oil/Water Emulsions in Continuous Flow Using Microwave Heating. *J. Energy & Fuels*, 2013, No. 27, pp. 3173-3178.
16. Kasatkin A.G. *Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii* [Basic Processes and Apparatuses of Chemical Technology]. Moscow, Khimiya Publ., 1971. 753 p. (in Russ.).
17. Fatkhullina Y.I., Musin A.A., Kovaleva L.A., Akhatov I.S. Mathematical Modeling of a Water-in-Oil Emulsion Droplet Behavior under the Microwave Impact. *Journal of Physics Conference Series*, 2015, No. 574 (1), pp. 1-7.
18. Kovaleva L.A. e.a. Determination of Temperature in an Emulsion Drop under Microwave Radiation. *High Temperature*, 2015, T. 53, No. 4, pp. 592-594.
19. Saifuddin N. Separation of Water from very Stable Water-in-Oil Emulsion Using Microwave Radiation with Presence of Inorganic Salts. *International Journal of Chemistry*, 2014, No. 35, pp. 1512-1521.
20. Binner E.R., Robinson J.P., Silvester S.A., Kingman S.W., Lester E.H. Investigation into the Mechanisms by which Microwave Heating Enhances Separation of Water-in-Oil Emulsions. *Fuel*, 2014, No. 116, pp. 516-521.
21. Kovaleva L.A., Minnigalimov R.Z., Zinnatullin R.R. Destruction of Water-in-Oil Emulsions in Radio-Frequency and Microwave Electromagnetic Fields. *Energy & Fuels*, 2011, No. 25, pp. 3731-3738.
22. Kovaleva L.A., Zinnatullin R.R., Musin A.A., Fatkhullina Yu.I. Primenenie VCh i SVCh elektromagnitnykh polei pri podgotovke nefiti i pererabotke neftyanykh shlamov [Application Microwave and High Frequency Fields by Oil Treatment and Processing of Oil Slime]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Georesursy. Geoenergetika. Geopolitika» - Electronic Scientific Journal «Georesources. Geoenergetics. Geopolitics»*, URL: [http://oilgasjournal.ru/vol\\_5/kovaleva.html](http://oilgasjournal.ru/vol_5/kovaleva.html). (in Russ.).
23. Abdurahman H.N., Rosli M.Yu., Azhary H.N. Demulsification of Water-in-Oil Emulsions by Microwave Heating Technology. *International Journal of Chemical*, 2010, Vol. 4, No. 2, pp. 170-175.
24. Kovaleva L.A., Minnigalimov R.Z., Zinnatullin R.R. *Razrushenie vodonefityanykh i nefteshlamovykh emul'sii elektromagnitnymi polyami* [Destruction of Water-Oil and Oil-Slime Emulsions by Electromagnetic Fields]. Ufa, BashGU, 2013. 164 p. (in Russ.).
25. Klassen V.I. *Omagnichivanie vodnykh sistem* [Magnetization of Water Systems]. Moscow, Khimiya Publ., 1988. 240 p. (in Russ.).
26. Lesin V.I. *Fiziko-khimicheskii mekhanizm obrabotki vody magnitnym polem* [The Physicochemical Mechanism of Water Magnetic Treatment]. *Sbornik dokladov 5 Mezhdunarodnogo kongressa «Ekvatek», 4-7 iyunya 2002 g.* [Collection of Reports of the 5 International Congress «Ekvatek», June 4-7, 2002]. Moscow, 2002, pp. 371. (in Russ.).
27. Lesin V.I., Dyunin A.G., Khavkin A.Ya. *Izmenenie fiziko-khimicheskikh svoistv vodnykh rastvorov pod vliyaniem elektromagnitnogo polya* [The Change in the Physicochemical Properties of Aqueous Solutions under the Influence of the Elec-

33. Доломатов М.Ю., Кисмерешкин С.В., Телин А.Г., Борисов Г.К., Сафуанова Р.М., Докичев В.А. Механизм резонансной дестабилизации водоуглеводородных эмульсий в низкочастотном электромагнитном поле // Научно-технический вестник НК «Роснефть». 2015. № 2. С. 87-90.
34. Oder R.R. Emulsions Breaking with Magnetic Fields // American Filtration Society. 18th Annual Conference. Atlanta, GA, 2005. April 10-13. P. 1-25.
35. Голубев М.В., Фахретдинов Р.Р., Голубев В.Ф., Шайдуллин Ф.Д., Баймухаметов М.К. Разрушение промежуточных слоёв в отстойных аппаратах на примере «Сергеевка» НГДУ «Уфанефть» // Эксплуатация нефтяных месторождений на поздних стадиях разработки: сб. науч. тр. / АНК «Башнефть». Уфа, 2003.
36. Ткачева Е.С., Закинян А.Р., Диканский Ю.И. Деформация микрокапель магнитодиэлектрических эмульсий в переменном электрическом и вращающемся магнитном полях // Фундаментальные исследования. 2012. № 6. С. 685-688.
37. Пивоварова Н.А., Кириллова Л.Б., Такаева М.А., Мусаева М.А., Мухамбетова З.А., Щугорев В.Д. О свойствах и строении нефтяных дисперсных систем // Вестник АГТУ. 2008. № 6. С. 138-144.
38. Мустафин И.А., Имашев Р.Н., Ниязгулов С.А., Шайхитдинов Р.З. Влияние импульсного магнитного поля на электромеханические процессы в нефтешламах // Башкирский химический журнал. 2011. № 2. С. 137-139.
39. Власов В.А., Мишкин В.Ф., Хан В.А., Ижойкин Д.А., Гамов Д.Л. Анализ процессов, обуславливающих влияние магнитного поля на структуру и свойства воды // Научный журнал КубГУ. 2012. № 81. С. 1-13.
40. Пивоварова Н.А., Белинский Б.И. Новые пути интенсификации процессов в нефте- и газоперерабатывающей отрасли // Вестник АГТУ. 2005. № 5. С. 82-86.
41. Ермеев А.М., Елпидинский А.А. О применении магнитного поля в процессах разрушения водонефтяных эмульсий // Вестник КТУ. 2013. № 2. С. 170-173.
42. Инюшин Н.В., Каштанова Л.Е., Лаптев А.Б. Магнитная обработка промысловых жидкостей. Уфа: Реактив, 2000. 58 с.
43. Инюшин Н.В., Ишемгузин Е.И., Каштанова Л.Е. и др. Аппараты для магнитной обработки жидкостей. Уфа: Реактив, 2001. 147 с.
- tromagnetic Field]. *Zhurnal fizicheskoi khimii - Journal of Physical Chemistry*, 1993, T. 67, No. 7, pp. 1561-1562. (in Russ.).
28. Lesin V.I., Koksharov Yu.A., Khomutov G.B. Struktura sovmestnykh agregatov kolloidnykh nanochastits nefiti i magnitnykh nanochastits oksidov zheleza [Structure of Aggregates Formed by Colloidal Nano Sized Particles of Oil and Iron Oxides]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Georesursy. Geoenergetika. Geopolitika» - Electronic Scientific Journal «Georesources. Geoenergetics. Geopolitics»*, URL: <http://oilgasjournal.ru/2009-1/4-rubric/lesin.html>. (in Russ.).
29. Zakir'yanova G.T., Kovaleva L.A., Nasyrov N.M. Issledovanie protsessov teplomassoperenosa i dinamiki rassloeniya emul'sii pri vozdeistvii elektricheskikh polei [Research of Heat and Mass Transfer Processes and Dynamics of Emulsion Stratification under the Influence of Electric Fields]. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Matematika. Mekhanika. Fizika - Bulletin of the SUSU. Series: Mathematics. Mechanics. Physics*, 2009. T. 155, No. 22, pp. 59-65. (in Russ.).
30. Wei Wu, Hui Fang, Fangyuan Yang, Shunli Chen, Xuefeng Zhu, Qunhui Yuan, Wei Gan. Understanding the Different Steps of Surfactant Adsorption at the Oil-Water Interface with Second Harmonic Generation. *The Journal of Physical Chemistry*, 2016, 120 (12), pp. 6515-6523.
31. Dolomatov M.Yu., Telin A.G., Safuanova R.M., Borisov G.K., Burhanova Z.I., Kismereshkin S.V., Dokichev V.A. Rezonansnaya kolebatel'naya destruktivnaya vodородnykh svyazei kak prichina metastabil'nosti emul'sii pod deistviem magnitnogo polya [Resonant Vibrational Destruction of Hydrogen Bonds as a Cause Meta-Stable Emulsion under Low Frequency Electromagnetic Field]. *Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy - Electrical and Data Processing Facilities and Systems*, 2014, No. 3, pp. 114-123. (in Russ.).
32. Telin A.G., Kresteleva I.V., Borisov G.K., Dokichev V.A., Svirskiy V.E., Kuleshov S.P., Shaidullin F.D., Burkhanova Z.I., Alimbekova S.R. O vliyani nizekchastotnogo magnitnogo polya na deemul'satsiyu stoikikh vodonefityanykh emul'sii [On the Influence of Low Frequency Magnetic Field upon the Stable Water/Oil Emulsion Break down]. *Nef't. Gaz. Novatsii - Oil. Gaz. Novation*, 2013, No. 8, pp. 68-72. (in Russ.).
33. Dolomatov M.Yu., Kismereshkin S.V., Telin A.G., Borisov G.K., Safuanova R.M., Dokichev V.A. Mekhanizm rezonansnoi destabilizatsii vodouglevodorodnykh emul'sii v nizkochastotnom elektromagnitnom pole [The Process of Resonance Destabilization of Water-Hydrocarbon Emulsions in the Low-Frequency Electromagnetic Field]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik NK «Rosneft'» - Scientific and technical bulletin of NK «Rosneft'»*, 2015, No. 2, pp. 87-90. (in Russ.).
34. Oder R.R. Emulsions Breaking with Magnetic Fields. *American Filtration Society, 18th Annual Conference*. Atlanta, GA, 2005. April 10-13. P. 1-25.
35. Golubev M.V., Fakhretdinov R.R., Golubev V.F., Shaidullin F.D., Baimukhametov M.K.

Razrushenie promezhutochnykh sloev v odstoinykh apparatakh na primere «Sergeevka» NGDU «Ufaneft'» [Destruction of Intermediate Layers in Sedimentation Vehicles Using the Example of «Sergeevka» NGDU «Ufaneft'»]. Sbornik nauchnykh trudov «Ekspluatatsiya neftyanykh mestorozhdenii na pozdnykh stadiyakh razrabotki» [Collection of Scientific Works «Exploitation of Oil Deposits in the Late Stages of Development». Ufa, ANK «Bashneft», 2003. (in Russ.).

36. Tkacheva E.S., Zakinyan A.R., Dikanskii Yu.I. Deformatsiya mikrokapel' magnitodielektricheskikh emul'sii v peremennom elektricheskom i vrashchayushchemsya magnitnom polyakh [Deformation of the Magnetodielectric Emulsions Microdrops in the Alternating Electric and Rotating Magnetic Fields]. *Fundamental'nye issledovaniya - Fundamental Research*, 2012, No. 6, pp. 685-688. (in Russ.).

37. Pivovarova N.A., Kirillova L.B., Takaeva M.A., Musaeva M.A., Mukhambetova Z.A., Shchugorev V.D. O svoistvakh i stroenii neftyanykh dispersnykh sistem [On Properties and Structure of Petroleum Dispersed Systems]. *Vestnik AGTU - Vestnik of AGTU*, 2008, No. 6, pp. 138-144. (in Russ.).

38. Mustafin I.A., Imashev R.N., Niyazgulov S.A., Shaikhitdinov R.Z. Vliyanie impul'snogo magnitnogo polya na elektromekhanicheskie protsessy v nefteshlamakh [Effect of Pulsed Magnetic Field on the Electromechanical Processes in Slime]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal - Bashkir Chemical Journal*, 2011, No. 2, pp. 137-139. (in Russ.).

39. Vlasov V.A., Mishkin V.F., Khan V.A., Izhoykin D.A., Gamov D.L. Analiz protsessov, obuslavlivayushchikh vliyanie magnitnogo polya na strukturu i svoistva vody [Analysis of the Processes Caused the Magnetic Field Influence on a Structure and Properties of Water]. *Nauchnyi zhurnal KubGU - Scientific Journal of KubSAU*, 2012, No. 81, pp. 1-13. (in Russ.).

40. Pivovarova N.A., Belinskii B.I. Novye puti intensivatsii protsessov v nefte- i gazopererabatyvayushchei otrasli [New Ways of Intensification in Oil and Gas Processing]. *Vestnik AGTU - Vestnik of AGTU*, 2005, No. 5, pp. 82-86. (in Russ.).

41. Ermeev A.M., Elpidinskii A.A. O primenении magnitnogo polya v protsessakh razrusheniya vodoneftyanykh emul'sii [On the Application of a Magnetic Field in the Processes of Destruction of Water-Oil Emulsions]. *Vestnik KTU - Herald of KTU*, 2013, No. 2, pp. 170-173. (in Russ.).

42. Inyushin N.V., Kashtanova L.E., Laptev A.B. *Magnitnaya obrabotka promyslovykh zhidkostei* [Magnetic Processing of Commercial Fluids]. Ufa, Reaktiv Publ., 2000. 58 p. (in Russ.).

43. Inyushin N.V., Ishemguzhin E.I., Kashtanova L.E. e.a. Apparaty dlya magnitnoi obrabotki zhidkostei [Apparatus for Magnetic Treatment of Liquids]. Ufa, Reaktiv Publ., 2001. 147 p. (in Russ.).

**Авторы**

• Долوماتов Михаил Юрьевич, д-р хим. наук, профессор  
Башкирский государственный университет  
Профессор кафедры физической электроники и нанофизики Физико-технического института  
Российская Федерация, 450076, г. Уфа,  
ул. З. Валиди, 32  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Профессор кафедры технологии нефти и газа  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: muhagu@rambler.ru

• Сабитов Рустам Салаватович  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Студент кафедры «Технология нефти и газа»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: Rustam19921886@gmail.com

• Сафуанова Резеда Мавлетьяновна, кандидат  
химических наук, доцент  
ООО «Уфимский научно-технический центр»  
Ученый секретарь  
Российская Федерация, 450076, г. Уфа,  
ул. Аксакова, 59  
тел. (347) 246-05-82  
e-mail: safuanovarm@ufntc.ru

• Телин Алексей Герольдович, кандидат  
химических наук, доцент  
ООО «Уфимский научно-технический центр»  
заместитель директора по научной работе  
Российская Федерация, 450076, г. Уфа,  
ул. Аксакова, 59  
тел. (347) 246-05-82  
e-mail: TelinAG@ufntc.ru

**The Authors**

• Dolomatov Mikhail Yu., Doctor of Chemical  
Sciences, Professor  
Bashkir State University  
Professor of Physical Electronics and Nanophysics  
Department, Physical Thechnical Institute  
32, Z. Validi str., Ufa, 450076,  
Russian Federation  
Ufa State Petroleum Technological University  
Professor of Oil and Gas Technology Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: muhagu@rambler.ru

• Sabitov Rustam S.  
Ufa State Petroleum Technological University  
Student of Oil and Gas Technology Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: Rustam19921886@gmail.com

• Safuanova Rezeda M., Candidate of Chemical  
Sciences, Associate Professor  
«UNTC» LLC  
Academic Secretary  
59, Aksakov str., Ufa, 450076,  
Russian Federation  
tel: (347) 246-05-82  
e-mail: safuanovarm@ufntc.ru

• Telin Aleksey G., Candidate of Chemical  
Sciences, Associate Professor  
«UNTC» LLC  
Deputy Director for Science  
59, Aksakov str., Ufa, 450076,  
Russian Federation  
tel: (347) 246-05-82  
e-mail: TelinAG@ufntc.ru