

УДК 622.276

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ СТОЙКИХ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

**Лекомцев Александр Викторович<sup>1</sup>,**  
alex.lekomtsev@mail.ru

**Мордвинов Виктор Антонович<sup>1</sup>,**  
mva44@bk.ru

**Дворецкас Ромас Вальдасович<sup>1</sup>,**  
dvoretskas@mail.ru

**Степаненко Иван Борисович<sup>1</sup>,**  
stepanenko2403@gmail.com

**Баканеев Виталий Сергеевич<sup>1</sup>,**  
Vitaly.Bakaneev@lp.lukoil.com

**Силичев Максим Алексеевич<sup>1</sup>,**  
silichev.maxim@mail.ru

**Корнилов Константин Витальевич<sup>1</sup>,**  
kornilov.neft@yandex.ru

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Россия, 614990, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29.

**Актуальность.** Подготовка продукции добывающих скважин до требований 1 группы качества товарной нефти в Пермском крае с каждым годом становится все более актуальным вопросом. Большинство эксплуатационных объектов находятся на завершающих стадиях разработки и характеризуются высокой обводненностью скважинной продукции, что в дальнейшем при сборе и промышленной подготовке приводит к образованию водонефтяных эмульсий. Стойкие водонефтяные эмульсии плохо подвергаются разрушению при подготовке их традиционными методами, такими как термическое и термохимическое гравитационное отстаивание. Данные методы подготовки просты в практическом применении, но не всегда обеспечивают требуемый результат. В связи с этим актуальной задачей является поиск и практическое применение новых технологий подготовки углеводородного сырья, которые могут применяться как отдельно от традиционных методов, так и в совокупности с ними. Таким методом является ультразвуковое воздействие.

**Цель:** провести оценку эффективности ультразвукового воздействия при разрушении стойких водонефтяных эмульсий, подобрать оптимальные параметры ультразвукового воздействия.

**Объект:** водонефтяная эмульсия с резервуара водоподготовки на установке промышленной подготовки нефти, которая расположена на территории Пермского края (Россия).

**Методы:** определение основных технологических показателей эффективности ультразвукового воздействия, проведение опытно-промышленных испытаний, построение ключевых графиков и зависимостей.

**Результаты.** Показан опыт применения ультразвукового воздействия, отмечена высокая эффективность разрушения стойких водонефтяных эмульсий по сравнению с традиционными методами. Авторами работы проведены опытно-промышленные испытания на мобильной установке подготовки скважинной продукции с применением ультразвукового воздействия на стойкие водонефтяные эмульсии, произведена оценка технологического эффекта и разработаны рекомендации по практическому применению предложенного комплексного метода. Научная новизна работы заключается в определении параметров эффективного процесса разрушения конкретного типа стойких водонефтяных эмульсий при совмещении термохимического и импульсного ультразвукового воздействия в докавитационном режиме. Установлена возможность снижения дозировки реагента-деэмульгатора в комбинации с ультразвуковым воздействием до 50 г/т. Показано снижение эффективности разрушения стойких водонефтяных эмульсий при комплексном воздействии на эмульсию низкой (менее 4 %) обводненности. Показано, что работа импульсной ультразвуковой системы на режиме работа–пауза 95/5 является оптимальной.

### **Ключевые слова:**

Промышленная подготовка нефти, опытно-промышленные испытания, обезвоживание водонефтяной эмульсии, мобильная установка подготовки скважинной продукции, ультразвуковое воздействие.

### **Введение**

Геологические условия залегания нефтяных залежей и применяемые технологии их разработки определяют наличие воды в скважинной продукции. Обводненность добываемой нефти по многим месторождениям России превышает 60–80 %. Совместное движение нефти и попутной воды в скважинах и про-

мысловых системах сбора продукции сопровождается взаимным диспергированием фаз и образованием в той или иной степени стабилизированных водонефтяных эмульсий (ВНЭ). В соответствии с требованиями ГОСТ Р 51858 товарная нефть, в зависимости от группы качества, не должна содержать более 0,5...1,0 % масс. воды и 100–900 мг/дм<sup>3</sup> минеральных

солей. Достижение указанных показателей обеспечивается за счет деэмульсации – разрушения ВНЭ и расслоения воды и нефти в процессе ее промышленной подготовки. Наиболее распространенным методом разрушения ВНЭ является термохимический, включающий нагрев эмульсии до определенной температуры, обработку ее реагентами-деэмульгаторами и гравитационный отстой в термоотстойниках.

Сложный состав пластовой нефти, наличие в ней и в образующейся эмульсии природных эмульгаторов и стабилизаторов ВНЭ, а также различных по химической природе веществ (реагентов), поступающих в скважинную продукцию при геолого-технических мероприятиях по интенсификации добычи нефти, нестабильность состава поступающего на установки промышленной подготовки нефти (УППН) сырья осложняют процесс разрушения эмульсий и расслоения фаз в технологических аппаратах. Под действием этих факторов и в результате увеличения в термоотстойниках УППН содержания стабилизаторов эмульсий вблизи контакта «нефть – отстаивающаяся вода» формируются промежуточные слои в виде сложных эмульсий с высоким содержанием стабилизаторов механического происхождения, сульфида железа, парафинов и асфальтенов, по составу и свойствам отличающихся от поступающего на УППН сырья. За время полного обмена объема жидкости в технологических отстойниках часть сложной и стойкой эмульсии не разрушается, что ведет к накоплению объема промежуточного слоя в аппаратах, нарушению стабильности технологического процесса подготовки нефти и ухудшению показателей ее качества.

Сложные по составу и стабилизированные эмульсии в виде промежуточных слоев формируются также на границе «нефть–вода» в резервуарах предварительного сброса воды и резервуарах водоподготовки (РВП) в составе УППН. Объем промежуточных слоев в РВП, несмотря на отвод отстаивающейся нефти в «голову» технологического процесса подготовки на УППН, постоянно (с интенсивностью, зависящей от времени года и других факторов) увеличивается, что определяет необходимость организации специальных технологических цепочек для разрушения такой нефтесодержащей жидкости с целью выделения из нее нефти и получения воды, пригодной для отвода в систему поддержания пластового давления. Процесс разрушения стойких ВНЭ с большим содержанием стабилизаторов осуществляется с нагревом до более высокой, чем в основном процессе подготовки нефти, температуры (60–80 °С) и с повышенным расходом реагентов-деэмульгаторов. Результативность такого процесса остается невысокой, что определяет необходимость поиска более эффективных методов и способов разрушения и расслоения стойких ВНЭ в составе промыслов на УППН. Одним из перспективных направлений является использование в технологическом процессе на установках ультразвукового воздействия (УЗВ) [1].

Образующиеся при добыче нефти ВНЭ являются в основном эмульсиями обратного типа с диспергированной в нефти водой, частицы (глобулы) которой

защищены от их укрупнения при коагуляции и коалесценции межфазными бронирующими оболочками (слоями) сложного состава. По отношению к ультразвуковым колебаниям (акустическим волнам) такие эмульсии являются упругой средой, реагирующей на УЗВ возникновением механических колебаний и перемещений дисперсных частиц. Движение возбужденных при УЗВ глобул воды может вызывать их деформацию с механическим воздействием на бронирующие оболочки, учащение столкновений дисперсных частиц, что создает благоприятные условия для укрупнения и осаждения глобул [2–6].

Опубликованные в различных источниках результаты выполненных исследований указывают на возможность интенсификации процесса термохимического обезвоживания и обессоливания нефти на УППН за счет ультразвукового воздействия на ВНЭ [7–9]. Изменением частоты колебаний и интенсивности УЗВ можно оптимизировать процесс разрушения эмульсии и получать синергетический эффект при совместном термохимическом и ультразвуковом воздействии на ВНЭ [10–13]. При неправильно подобранных параметрах работы ультразвуковой существуют предпосылки противоположного эффекта – создание стабильной водонефтяной эмульсии [14, 15].

Результаты известных исследований и их оценка часто неоднозначны и в основном не базируются на экспериментальных работах в условиях реальных промысловых объектов.

В данной работе оцениваются и анализируются результаты выполненных авторами промысловых опытно-промышленных работ (ОПР) на мобильной установке подготовки скважинной продукции (МУПСР) [16, 17] по испытанию технологического процесса термохимического разрушения стойких ВНЭ с применением ультразвукового воздействия.

#### **Экспериментальный ультразвуковой комплекс для разрушения стойких ВНЭ**

В качестве ультразвукового комплекса при проведении опытно-промышленных работ использовались два пьезокерамических излучателя с установленными металлическими мембранами, способными выдавать резонансную частоту  $f$ , равную 13, 26, 40 кГц. Мембрана, представляющая собой колеблющуюся оболочку с двусторонней нагрузкой, выполняет распределение и ввод механических колебаний в жидкую среду (рис. 1).

Пьезокерамические излучатели подключены параллельно к одному генератору для синхронной работы. Источник ультразвука погружен в сосуд с жидкостью. Эта схема более гибка в части поиска эффективного акустического режима и анализа его влияния на флюид. За счёт комбинирования частот можно исследовать влияние ультразвука на флюид в широком частотном диапазоне. Внутри сепаратора волновод передаёт колебания на мембрану, распределяющую механические колебания по поверхности. Плоская мембрана более равномерно распределяет и эффективно передаёт ультразвуковые колебания от источника к жидкости в сепараторе, чем стержневая кон-

струкция. Для реализации процесса ультразвуковой коагуляции жидкодисперсных систем воздействие необходимо осуществлять в режиме, близком к докavitационному, чтобы избежать вторичного разрушения образующихся глобул воды и значительной диспергации внутренней фазы. Поддержание устойчиво-

го докavitационного режима требует ограничения интенсивности ультразвуковых колебаний, что снижает возможности ультразвуковой коагуляции [18]. С целью увеличения вводимой в эмульсию акустической энергии без развития кavitационного режима УЗВ осуществлялось в импульсном режиме.

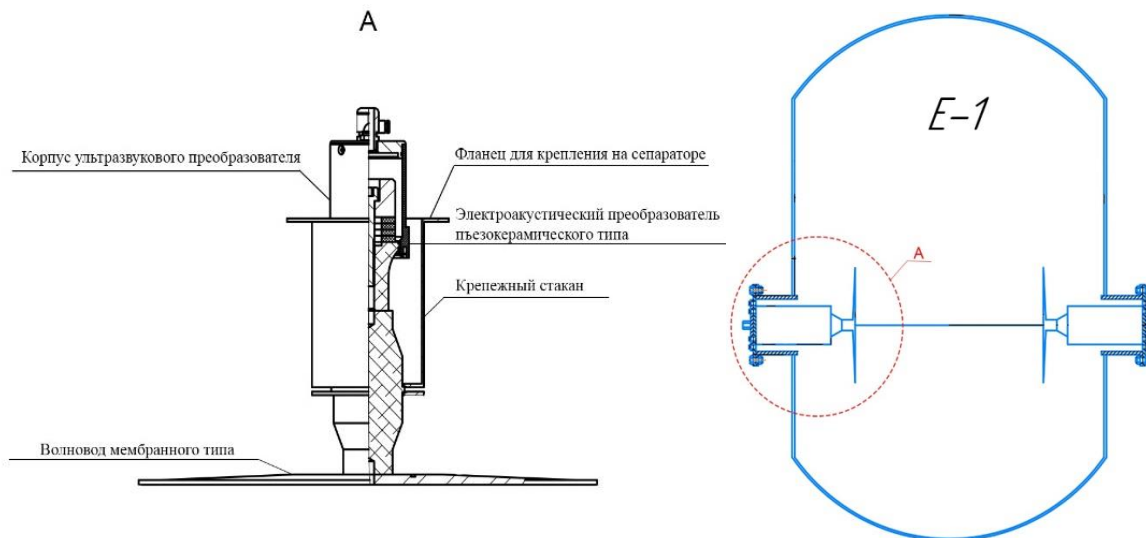


Рис. 1. Схематичное изображение ультразвукового излучателя в емкости E-1

Fig. 1. Schematic image of the ultrasonic emitter in container E-1

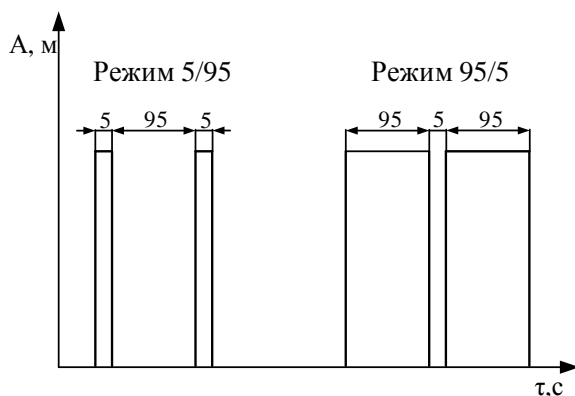


Рис. 2. Схематичное изображение циклов в работе/циклов в паузе 5/95 и 95/5

Fig. 2. Schematic representation of cycles in operation/cycles in pause 5/95 and 95/5

Интенсивность импульсного воздействия ультразвукового поля в ходе ОПИ обеспечивалась выбором определенного количества циклов в работе и паузе. Один цикл работы излучателя характеризуется настраиваемым интервалом времени на генераторе импульсов через ширину, количество импульсов и время релаксации между ними (время паузы). Для удобства принято считать максимальное количество импульсов 100, минимальное 0. При заданной мощности колебаний время релаксации капли воды в нефти стоячей ультразвуковой волной существенно влияет на процесс деэмульсации. Путем изменения времени релаксации можно установить наилучшие условия для расслоения эмульсии без создания искусственной кavitации и связанной с ней диспергации

частиц. Для проверки значимости параметра устанавливались три постоянных режима работы ультразвукового комплекса со значениями в широком диапазоне от 5/95 до 95/5 (соответственно количество циклов в работе/ циклов в паузе). На рис. 2 представлено схематичное изображение циклов в работе/циклов в паузе 5/95 и 95/5.

#### Проведение опытно-промышленных испытаний технологии ультразвукового воздействия на водонефтяную эмульсию

Объектом исследований является промежуточный слой в резервуаре водоподготовки (РВП) УППН (Пермский край), который представляет собой стойкую обратную ВНЭ. Такая эмульсия образуется по причине неполного разделения водной и углеводородной фаз, а также подкачки нефтесодержащей жидкости, доставляемой с нефтепромысла после проведения геолого-технических мероприятий на добывающем фонде скважин. В исследуемых ВНЭ содержание воды изменялось от 1 до 85 %, содержание сульфида железа – от 3900 до 7900 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1).

Стойкая эмульсия, представленная в табл. 1, существенно отличается от поступающего в виде ВНЭ сырья на УППН: по содержанию мехпримесей в 120–150 раз; по концентрации сульфида железа более чем в 400 раз; по вязкости в 3–80 раз.

Процесс подготовки стойких водонефтяных эмульсий на УППН в рабочем режиме осуществляется следующим образом: водонефтяная эмульсия отбирается из резервуара водоподготовки с уровня 7 м, нагревается в печах трубчатых блочных (ПТБ) до температуры 60 °С и подается в этот же РВП на уро-

вень 5 м. На рис. 3 приведена схема технологического процесса подготовки промежуточных слоев на УППН с подключением МУПСП.

**Таблица 1.** Физико-химические свойства стойкой водонефтяной эмульсии

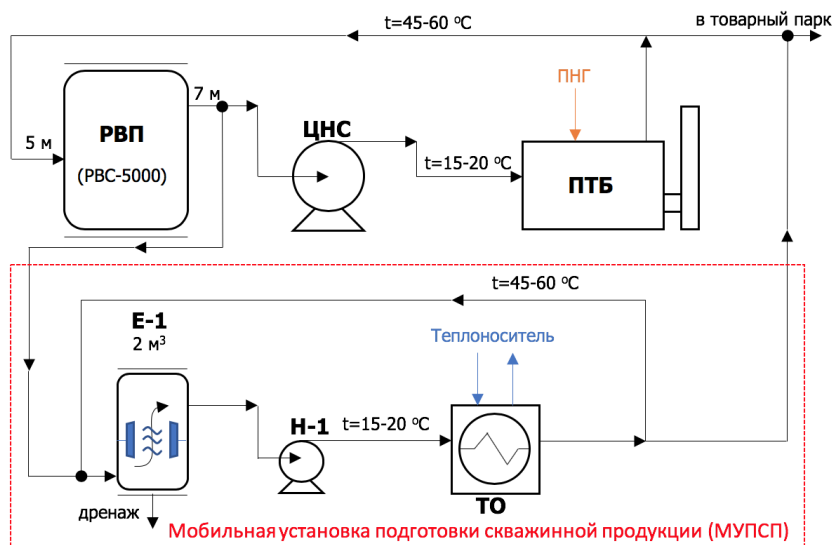
**Table 2.** Physical and chemical properties of stable water-oil emulsion

Показатель Parameter	Ед. изм. Unit of measurement	Значение Value
Плотность при температуре 20 °С Oil density at 20 °С	кг/м <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>	930–970
Объемная доля воды (W) Water content (W)	об. % vol. %	1–85
Содержание солей (S) Salt content (S)	мг/дм <sup>3</sup> mg/dm <sup>3</sup>	57000–64000
Массовая доля механических примесей Mass fraction of mechanical impurities	мас. % mas. %	1,5–1,9
Массовая концентрация сульфида железа в нефтяной фазе Mass concentration of iron sulfide in the oil phase	мг/дм <sup>3</sup> mg/dm <sup>3</sup>	3900–7900
Вязкость при температуре 20 °С Viscosity at 20 °С	мПа·с mPa·s	150–200

Рецикл нагретой эмульсии происходит в присутствии деэмульгатора (ДЭ) ФЛЭК-Д028 с дозировкой

200 г/т и с последующим гравитационным отстоем от 12 до 24 часов. Такая технология подготовки позволяет получить нефть с обводненностью 1,2...1,4 % при среднем солесодержании 1000 мг/дм<sup>3</sup>, что не соответствует требованиям ГОСТ Р 51858-2002.

Опытно-промышленные испытания технологии ультразвукового воздействия осуществлялись на мобильной установке подготовки скважинной продукции. Одной из функций МУПСП является моделирование методов и средств подготовки нефти и воды на площадных объектах без вмешательства в основной технологический процесс. Для определения оптимальных условий и режимов разрушения стойких водонефтяных эмульсий МУПСП была подключена к действующей установке подготовки нефти параллельно основному процессу (рис. 3). Установка выводится на режим, который в точности моделирует технологию подготовки на УППН. Выход на режим осуществляется следующим образом: проводится запуск МУПСП и наполнение емкости Е-1, водонефтяная эмульсия с расходом 0,1...0,6 м<sup>3</sup>/ч при температуре 15–20 °С и давлении 0,1 МПа подается из Е-1 по замкнутому циклу, нагреваясь в пластинчатом теплообменнике до температуры жидкости в технологических аппаратах УППН.



**Рис. 3.** Технологический процесс подготовки промежуточных слоев на установке промышленной подготовки нефти с подключением мобильной установки подготовки скважинной продукции

**Fig. 3.** Technological process of preparation of intermediate layers on the oil preparation unit with the connection of the mobile well production preparing unit

Калибровка осуществляется регулированием производительности насосного агрегата МУПСП исходя из равенства времени подготовки ВНЭ в моделируемых аппаратах при соблюдении термобарических условий, идентичных существующей технологии подготовки скважинной продукции на УППН. Далее производится обработка водонефтяной эмульсии с применением различных технологий и определением качества продукта до начала испытаний, в процессе и по их окончанию. Сравнение результатов проб на

входе и выходе МУПСП является основанием для оценки эффективности применяемой технологии.

#### Подбор оптимальных режимов ультразвукового воздействия

Для калибровки МУПСП на УППН исходный продукт, поступающий с уровня 7 м РВП при обводненности 18 %, нагревался с 15 до 60 °С. Подготовка осуществлялась в режиме «горячего» гравитационного отстоя. При таком процессе не удалось получить

нефть по ГОСТ Р 51858-2002, продукция имела обводненность 1,4 %, содержание хлористых солей 925 мг/дм<sup>3</sup>. Результаты по качеству подготовленного продукта на МУПСП по данной технологии сопоставимы с результатами лабораторных анализов водонефтяной эмульсии в резервуаре водоподготовки УППН, что указывает на высокую точность моделирования процесса на МУПСП.

Для исключения эффекта от нагрева осуществлялся подбор оптимальной интенсивности УЗВ при температуре 30 °С. Обработка велась ультразвуком в течение трех часов с частотой 13–14 кГц с последующим гравитационным отстоем в течение трех часов. В табл. 2 приведены результаты оценки эффективности технологии ультразвуковой обработки в зависимости от интенсивности воздействия.

**Таблица 2.** Результаты анализа проб после 7 часов динамического отстоя при различных режимах УЗВ

**Table 2.** Results of samples analysis after 7 hours of dynamic sedimentation under various modes of the ultrasonic impact

Номер режима Mode number	Циклы в работе/паузе Cycles within operation/pause	Показатели качества входящего сырья Quality of incoming water-oil emulsions		Показатели качества выходящего продукта Quality of output water-oil emulsions		t, °C	f, кГц f, kHz
		W, %	S, мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	W, %	S, мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )		
1 УЗВ USI	5/95	1,2	571	1,2	513	30	13–14
2 УЗВ USI	40/60	1,4	495	1,2	513		
3 УЗВ USI	95/5	1,4	495	1,0	320		
4 УЗВ USI	95/5+5/95	1,2	539	1,0	568		

USI – ultrasonic impact.

На режиме 3 (работа–пауза 95/5) достигнуты наилучшие показатели качества: снижение обводненности с 1,4 до 1,0 % и снижение содержания хлористых солей с 495 до 320 мг/дм<sup>3</sup> на выходе МУПСП, что соответствует 3 группе качества товарной нефти. На режиме 4 испытывалось комбинированное воздействие ультразвукового поля при режиме работа–пауза 95/5 (этап 1 – интенсификация) и далее 5/95 (этап 2 – стабилизация). По табл. 2 видно, что при таком подходе не ухудшаются показатели по обводненности, достигнутые на первом этапе озвучивания, однако на этапе 2 происходит незначительное увеличение солевого содержания после гравитационного отстоя. Уменьшение содержания воды в нефти ниже 1 % не проис-

ходит по причине высокой вязкости эмульсии, нагретой до температуры 30 °С. Степень подготовки сырья с исходной обводненностью 1,2...1,4 % невысокая. Это объясняется незначительной амплитудой колебаний капели воды по сравнению с расстоянием между глобулами дисперсной фазы. Эффект от УЗВ может быть усилен снижением вязкости дисперсионной среды (нефти) путем ее нагрева. Дальнейшие эксперименты и технологические процессы проведены при температуре не менее 50 °С.

С целью оценки влияния температуры на эффективность процесса разрушения стойких водонефтяных эмульсий проведена серия экспериментов, параметры которых приведены в табл. 3.

**Таблица 3.** Характеристика режимов 4, 5, 6 разрушения ВНЭ при различной температуре

**Table 3.** Characteristics of water-oil emulsions destruction modes 4, 5, 6 under different temperatures

Номер режима Mode number	Показатели качества входящего сырья Quality of incoming water-oil emulsions		Показатели качества выходящего продукта Quality of output water-oil emulsions		t, °C	f, кГц f, kHz
	W, %	S, мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	W, %	S, мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )		
4 (УЗВ) (USI)	1,2	539	1,0	568	30	14
5 (УЗВ+t*) (USI+t)	4,0	2580	0,8	629	50	
6 (УЗВ+t) (USI+t)	2,5	1048	0,9	240	60	

t\* – нагрев/heating.

В ходе экспериментов установлено, что при температуре эмульсии 60 °С достигается оптимальная эффективность технологического процесса. С увеличением температуры межфазное натяжение и вязкость эмульсии (нефти) значительно снижаются. Уменьшение межфазного натяжения способствует консолидации дисперсных капель. При увеличении температуры может возникнуть незначительная кавитация в зоне, близкой к мембранным пластинам, за счет увеличения давления паров кавитационной среды. С увеличением кавитационных событий происхо-

дит разложение крупных капель с образованием мелких и обновление водонефтяной эмульсии. При этом за счет снижения вязкости интенсивнее протекает процесс коалесценции в режиме стабилизации УЗВ.

Установлено, что степень снижения обводненности с увеличением доли воды в исходном сырье возрастает (режим 5). Это объясняется улучшением условий УЗВ в связи с меньшими расстояниями между частицами дисперсной фазы. Детальное изучение дисперсионного состава позволяет установить основные закономерности протекающего механизма разрушения ВНЭ.

**Обоснование параметров эффективного применения ультразвукового воздействия**

Оценка эффективности УЗВ выполнена при проведении серии испытаний с различной исходной обводненностью водонефтяной эмульсии. Характеристики исследуемых режимов подготовки стойких ВНЭ приведены в табл. 4.

В ходе исследований определена необходимость в подаче реагента-деэмульгатора для повышения эффективности деэмульсации стойких водонефтяных эмульсий при УЗВ. Установлена возможность снижения дозировки реагента-деэмульгатора в комбинации

с ультразвуковым воздействием до 50 г/т. Увеличение дозировки не приводит к существенному улучшению результатов. Дозировка 50 г/т значительно ниже, чем при применяемой технологии промышленной подготовки стойких водонефтяных эмульсий (200 г/т), что объясняется более качественным диспергированием деэмульгатора в водонефтяной эмульсии при УЗВ и подтверждает целесообразность развития исследований в области способов ввода и доставки ДЭ его на границы глобул дисперсной фазы, распределенной в дисперсионной среде [19, 20].

**Таблица 4.** Характеристика режимов 6–10

**Table 4.** Characteristics of modes 6–10

Номер режима Mode number	t, °C	f, кГц f, kHz	ДЭ, г/т DE, g/t	Содержание воды (%) и сульфида железа (мг/дм <sup>3</sup> ) Water content (W) and mass concentration of iron sulfide (mg/dm <sup>3</sup> )			
				в исходной эмульсии incoming water-oil emulsions		в выходящем продукте (нефти) output water-oil emulsions	
				W, %	S, мг/дм <sup>3</sup> S, mg/dm <sup>3</sup>	W, %	S, мг/дм <sup>3</sup> S, mg/dm <sup>3</sup>
7 (УЗВ+t) (USI+t)	60	14	–	85	5100	0,9	559
8 (УЗВ+t+ДЭ*) (USI+t+DE*)	58	14	50	45	4000	0,5	287
9 (УЗВ+t+ДЭ) (USI+t+DE)	50	14	50	4	2580	0,8	629
6 (УЗВ+t+ДЭ) (USI+t+DE)	58	14	50	2,5	1048	0,9	240
10 (УЗВ+t+ДЭ) (USI+t+DE)	59	22	50	1	678	0,8	454

ДЭ\* – деэмульгатор.

DE\* – demulsifier.

Все эксперименты по УЗВ проведены комбинированным воздействием ультразвукового поля с изменяемым параметром работа–пауза 95/5 (этап 1 – интенсификация) и далее 95/5 в импульсном режиме (этап 2 – стабилизация). Установлено, что эффективность УЗВ значительно снижается при обводненности менее 4 %. Исходное сырье с обводненностью 2,5 % (режим 6) и 1,0 % (режим 10) обезвожено на 64 и 20 % соответственно. Водонефтяная эмульсия с обводненностью 85 % (режим 7) и 45 % (режим 8) обезвожена на 99 %.

**Выводы**

1. Стойкие, с высоким содержанием стабилизаторов, водонефтяные эмульсии, образующиеся в составе промежуточных слоев на объектах УППН, не могут быть разрушены термохимическим методом с выделением товарной нефти (по ГОСТ Р 51585-

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Опытнo-промысловые испытания интенсифицирующих устройств на мобильной установке подготовки скважинной продукции / И.И. Мазеин, А.В. Усенков, А.Ю. Дурбажев, А.В. Лекомцев, П.Ю. Илюшин // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 6. – С. 136–139.
2. Козлов В.Г., Сабиров Р.Р., Субботин С.В. Осредненные течения в осциллирующей сферической полости с эластичной стенкой // Известия российской академии наук механика жидкости и газа. – 2018. – № 2. – С. 16–26.
3. Иванова А.А., Козлов В.Г. Вибрационная конвекция при непоступательных колебаниях полости (изотермический слу-

2002) и воды, по составу и свойствам пригодной для системы поддержания пластового давления.

2. С целью оценки в промышленных условиях возможности эффективного разрушения стойких ВНЭ с применением термохимического и ультразвукового воздействия выполнены опытно-промышленные работы на установке промышленной подготовки нефти. Получен синергетический эффект при комплексном (совместном) воздействии на эмульсии с применением указанных методов.
3. Определены параметры эффективного процесса разрушения стойких ВНЭ при совмещении термохимического и импульсного УЗВ в докавитационном режиме.
4. Установлено снижение эффективности разрушения стойких ВНЭ при комплексном воздействии на эмульсию низкой (менее 4 %) обводненности.

чай) // Известия российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2003. – № 2. – С. 25–32.

4. Ниборг В. Акустические течения // Физическая акустика. – М.: Мир, 1969. – С. 302–377.
5. Acoustic levitation of liquid drops: Dynamics, manipulation and phase transitions / D. Zang, Y. Yu, Z. Chen, X. Li, H. Wu, X. Geng // Advances Colloid Interface Science. – 2017. – V. 243. – P. 77–85.
6. Trinh E., Zwern A., Wang T.G. An experimental study of small-amplitude drop oscillations in immiscible liquid systems // Journal of Fluid Mechanics. – 1982. – V. 115 – P. 453–474.
7. Афанасьев Е.С., Римаренко Б.И., Ясьян Ю.П. Влияние ультразвукового воздействия на процесс разрушения водонефтяных

- эмульсий // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2009. – № 9. – С. 39–41.
8. Guoxiang Ye, Xiaoping Lu, Pingfang Han. Desalting and dewatering of crude oil in ultrasonic standing wave field // Petroleum Science and Engineering. – 2010. – V. 70. – P. 40–144.
  9. Gaikwad G., Pandit B. Ultrasound emulsification: effect of ultrasonic and physicochemical properties on dispersed phase volume and droplet size // Ultrasonics Sonochemistry. – 2008. – № 15. – P. 554–563.
  10. Разделение стойкой водонефтяной эмульсии с применением ультразвукового воздействия / А.В. Лекомцев, П.Ю. Илюшин, К.А. Дерендяев, И.Б. Степаненко, В.А. Мордвинов, Р.В. Дворецкас // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2019. – № 2. – С. 9–12.
  11. Yang X.-g., Tan W., Tan X.-f. Demulsification of crude oil emulsion via ultrasonic chemical method // Petroleum Science and Technology. – 2017. – № 27. – P. 2010–2020.
  12. Singh B.P., Pandey B.P. Ultrasonication for breaking water-in-oil emulsions // Proceedings of the Indian Academy of Sciences. – 1992. – № 3. – P. 181–194.
  13. An experimental study on the application of ultrasonic technology for demulsifying crude oil and water emulsions / M. Amani, M. Idris, M. Abdul Ghani, N. Dela Rosa, A. Carvero // Journal of Petroleum and Environmental Biotechnology. – 2017. – V. 7. – P. 1–12.
  14. Ramisetty K.A., Shyamsunder R. Effect of ultrasonication on stability of oil in water emulsions // International Journal of Drug Delivery. – 2011. – № 1. – P. 133–142.
  15. Emulsification by high frequency ultrasound using piezoelectric transducer: formation and stability of emulsifier free emulsion / M. Kaci, S. Meziani, E. Arab-Tehrany, G. Gillet, I. Desjardins-Lavis, S. Desobry // Ultrasonics Sonochemistry. – 2014. – № 21. – P. 1010–1017
  16. Установка подготовки скважинной продукции: пат. Рос. Федерация, № 2016114262, заявлено 2016.04.12; опубл. 2017.04.17, Бюл. № 11.
  17. Результаты опытно-промышленных испытаний мобильной установки подготовки скважинной продукции / О.В. Третьяков, А.В. Усенков, А.В. Лекомцев, П.Ю. Илюшин, С.В. Галкин // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 2. – С. 131–135.
  18. Выявление оптимальных режимов ультразвукового импульсного воздействия для коагуляции в жидкодисперсных средах / В.Н. Хмелев, Р.Н. Голых, М.В. Хмелев, В.А. Шакура, А.В. Шалунов, Р.В. Барсуков // Южно-Сибирский Научный Вестник. – 2017. – № 3. – С. 15–20.
  19. Перспективы использования ультразвукового воздействия в процессе подготовки нефти на / А.В. Деньгаев, В.С. Вербицкий, И.Т. Мищенко, А.А. Геталов // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 4. – С. 28–30.
  20. Применение акустических методов разделения водонефтяных эмульсий / А.В. Деньгаев, А.А. Геталов, В.С. Вербицкий, М.М. Фархутдинов // Международная научно-техническая конференция Geopetrol 2018. – Закопане, Польша, 17–20 Сентября 2018. – С. 647–652.

Поступила 12.04.2021 г.

#### Информация об авторах

**Лекомцев А.В.**, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазовых технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета.

**Мордвинов В.А.**, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазовых технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета.

**Дворецкас Р.В.**, аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета.

**Степаненко И.Б.**, магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета.

**Баканеев В.С.**, аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета.

**Силичев М.А.**, магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета.

**Корнилов К.В.**, магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета.

UDC 622.276

## JUSTIFICATION OF ULTRASONIC IMPACT TECHNOLOGY FOR DESTRUCTION OF STABLE WATER-OIL EMULSIONS

**Alexander V. Lekomtsev<sup>1</sup>,**  
alex.lekومتsev@mail.ru

**Victor A. Mordvinov<sup>1</sup>,**  
mva44@bk.ru

**Romas V. Dvoreckas<sup>1</sup>,**  
dvoretskas@mail.ru

**Ivan B. Stepanenko<sup>1</sup>,**  
stepanenko2403@gmail.com

**Vitaliy S. Bakaneev<sup>1</sup>,**  
Vitaly.Bakaneev@lp.lukoil.com

**Maxim A. Silichev<sup>1</sup>,**  
silichev.maxim@mail.ru

**Konstantin V. Kornilov<sup>1</sup>,**  
kornilov.neft@yandex.ru

<sup>1</sup> Perm National Research Polytechnic University,  
29, Komsomolskiy avenue, Perm, 614990, Russia.

**The relevance.** Preparation of wells production to the requirements of the first quality group for the commercial purposes is becoming more relevant every year in the Perm region. Most operational facilities are in the final stages of development and are characterized by high water content of well products, which later leads to the formation of water-oil emulsions during transportation and field preparation. Stable water-oil emulsions are poorly exposed to destruction when prepared by traditional methods, such as thermal and thermochemical gravity sedimentation. These preparing methods are easy to use, but do not always provide the expected result. In this regard, an urgent task is to find and apply new technologies for preparation of hydrocarbons, which can be used separately from traditional methods, or in combination with them. This method is ultrasound impact.

**The main aim** of the research is to evaluate the effectiveness of ultrasonic impact on the destruction of stable water-oil emulsions, to select the optimal parameters of ultrasound.

**Object:** water-oil emulsion from the water treatment tank, which is located in the Perm territory (Russia).

**Methods:** determining the main technological indicators, conducting laboratory research and pilot tests, making key graphs and dependencies.

**Results.** The paper shows the experience of using ultrasound impact. In addition, the high destruction efficiency of stable water-oil emulsions in comparison with traditional methods is noted there. The authors of the article conducted pilot tests on a mobile unit for preparing well products with the use of ultrasonic impact on stable water-oil emulsions, evaluated the technological effect and developed recommendations for the practical application of the proposed method. The scientific novelty of the work is to determine the parameters of the effective process of destruction specific type of stable water-oil emulsions with combining thermochemical and pulsed ultrasonic action in the pre-cavitation mode. It is possible to reduce the dosage of the demulsifier reagent in combination with ultrasound impact to 50 g/t. A decrease in the efficiency of destruction of stable water-oil emulsions under the complex effect of low (less than 4 %) water content on the emulsion is shown. It is also shown that the work of the pulsed ultrasonic system in the operation–pause mode 95/5 is optimal.

### Key words:

Oil field preparation, pilot tests, demulsification of stable water-oil emulsion, mobile well production preparing unit, ultrasonic impact.

### REFERENCES

- Mazein I.I., Usenkov A.V., Durbazhev A.Yu., Lekomtsev A.V., Ilyushin P.Yu. Experimental and field tests of intensifying devices on a mobile installation for preparing well products. *Oil industry*, 2018, no. 6, pp. 136–139. In Rus.
- Kozlov V.G., Sabirov R.R., Subbotin S.V. Steady flows in an oscillating spheroidal cavity with elastic wall. *Fluid Dynamics*, 2018, vol. 53, no. 2, pp. 189–199.
- Ivanova A.A., Kozlov V.G. Osrednennyye techeniya v oscilliruyushchey sferoidalnoy polosti s elastichnoy stenкой [Vibrational convection in non-accessible cavity vibrations (isothermal case)]. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii nauk. Fluid and gas mechanics*, 2003, no. 2, pp. 25–32.
- Niborg V. Akusticheskie techeniya [Acoustic currents]. *Fizicheskaya akustika* [Physical acoustics]. Moscow, Mir Publ., 1969. pp. 302–377.
- Zang D., Yu Y., Chen Z., Li X., Wu H., Geng X. Acoustic levitation of liquid drops: Dynamics, manipulation and phase transitions. *Advances Colloid Interface Science*, 2017, vol. 243, pp. 77–85.
- Trinh E., Zvern A., Wang T. G. An experimental study of small-amplitude drop oscillations in immiscible liquid systems. *Journal of Fluid Mechanics*, 1982, vol. 115, pp. 453–474.
- Afanasiev E.S., Rimarenko B.I., Yasyan Yu.P. Vliyanie ultrazvukovogo vozdeystviya na protsess razrusheniya vodoneftnyanykh emulsiy [Influence of ultrasonic action on destruction of water-oil emulsions]. *Oil refining and petrochemistry*, 2009, no. 9, pp. 39–41.
- Guoxiang Ye, Xiaoping Lu, Pingfang Han. Desalting and dewatering of crude oil in ultrasonic standing wave field. *Petroleum Science and Engineering*, 2010, vol. 70, pp. 40–144.



9. Gaikwad G., Pandit B. Ultrasound emulsification: effect of ultrasonic and physicochemical properties on dispersed phase volume and droplet size. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2008, no. 15, pp. 554–563.
10. Lekomtsev A.V., Ilyushin P.Yu., Derendyaev K.A., Stepanenko I.B., Mordvinov V.A., Dvoretzkyas R.V. Separation of resistant water-oil emulsion with the use of ultrasonic action. *Chemical oil and gas engineering*, 2019, no. 2, pp. 9–12. In Rus.
11. Yang X.-g., Tan W., Tan X.-f. Demulsification of crude oil emulsion via ultrasonic chemical method. *Petroleum Science and Technology*, 2017, no. 27, pp. 2010–2020.
12. Singh B.P., Pandey B.P. Ultrasonication for breaking water-in-oil emulsions. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences*, 1992, no. 3, pp. 181–194.
13. Amani M., Idris M., Abdul Ghani M., Dela Rosa N., Carvero A. An experimental study on the application of ultrasonic technology for demulsifying crude oil and water emulsions. *Journal of Petroleum and Environmental Biotechnology*, 2017, vol. 7, pp. 1–12.
14. Ramisetty K.A., Shyamsunder R. Effect of ultrasonication on stability of oil in water emulsions. *International Journal of Drug Delivery*, 2011, no. 1, pp. 133–142.
15. Kaci M., Meziani S., Arab-Tehrany E., Gillet G., Desjardins-Lavis I., Desobry S. Emulsification by high frequency ultrasound using piezoelectric transducer: Formation and stability of emulsifier free emulsion. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2014, vol. 21, pp. 1010–1017.
16. Ilyushin P.Yu., Usenkov A.V., Tretyakov O.V., Lekomtsev A.V., Mazein I.I., Khasanov R.F., Gorbushin A.V., Durbazhev A.Yu. *Ustanovka podgotovki skvazhinnoy produktsii* [Well production preparing unit]. Patent RF, no. 2016114262. 2017.
17. Tretyakov O.V., Usenkov A.V., Lekomtsev A.V., Ilyushin P. Yu., Galkin S. V., Results of experimental and industrial tests of a mobile well preparation unit. *Oil industry*, 2016, no. 2, pp. 131–135. In Rus.
18. Khmelev V.N., Golykh R.N., Khmelev M.V., Shakura V.A., Shalunov A.V., Barsukov R.V. Identification of optimal modes of ultrasonic pulse action for coagulation in liquid-dispersed media. *South-Siberian Scientific Bulletin*, 2017, no. 3, pp. 15–20. In Rus.
19. Dengaev A.V., Verbitsky V.S., Mishchenko I.T., Getalov A.A. Prospects for the use of ultrasonic influence in the process of oil preparation on. *Oil industry*, 2020, no 4, pp. 28–30. In Rus.
20. Dengaev A.V., Getalov A.A., Verbitsky V.S., Farkhutdinov M.M. Primenenie akusticheskikh metodov razdeleniya vodoneftnykh emulsiy [Application of acoustic methods of separation of water-oil emulsions]. *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya. Geopetrol 2018* [Report at the international scientific and technical conference. Geopetrol]. Poland, 2018. pp. 647–652.

*Received: 12 April 2021.*

#### Information about the authors

**Alexander V. Lekomtsev**, Cand Sc., associate professor, Perm National Research Polytechnic University.

**Victor A. Mordvinov**, Cand Sc., associate professor, Perm National Research Polytechnic University.

**Romas V. Dvoretzkyas**, graduate student, Perm National Research Polytechnic University.

**Ivan B. Stepanenko**, student, Perm National Research Polytechnic University.

**Vitaliy S. Bakanaev**, graduate student, Perm National Research Polytechnic University.

**Maxim A. Silichev**, student, Perm National Research Polytechnic University.

**Konstantin V. Kornilov**, student, Perm National Research Polytechnic University.