ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ НА ВОДОНЕФТЯНЫЕ ЭМУЛЬСИИ

EXPERIMENTAL STUDIES OF ELECTROHYDRAULIC SHOCK EFFECT ON WATER-OIL EMULSIONS

М. Д. Валеев
Marat D. Valeev

ООО НПП «ВМ система»,
г. Уфа, Российская Федерация

LLC SPE «VM system»,
Ufa, Russian Federation

И. В. Грехов
Ivan V. Grekhov

ООО «Газпромнефть НТЦ»,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Gazpromneft STC LLC,
Saint-Petersburg,
Russian Federation

Р. З. Ахметгалиев
Rinat Z. Akhmetgaliev

ООО НПП «ВМ система»,
г. Уфа, Российская Федерация

LLC SPE «VM system»,
Ufa, Russian Federation

С. А. Тарасевич
Sergey A. Tarasevich

ООО «Газпромнефть НТЦ»,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Gazpromneft STC LLC,
Saint-Petersburg,
Russian Federation

А. Р. Ахметгалиев
Albert R. Akhmetgaliev

ООО НПП «ВМ система»,
г. Уфа, Российская Федерация

LLC SPE «VM system»,
Ufa, Russian Federation

А. В. Богданов
Aleksandr V. Bogdanov

ПАО «Газпром нефть»,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Gazprom Neft PJSC,
Saint-Petersburg,
Russian Federation

Технологический процесс добычи обводненной нефти требует постоянного поиска и совершенствования воздействия на нефтяные эмульсии различными физическими полями с целью их разрушения. Согласно предварительному анализу патентных решений по реализации метода, электрогидравлическое воздействие можно осуществить непосредственно на водонефтяные эмульсии или через промежуточную среду с контролируемыми во времени параметрами и характеристиками. При этом предполагается проводить электрогидравлическое воздействие на водонефтяные эмульсии в закрытых замкнутых пространствах — емкостях продольного перемещения обрабатываемой жидкости с малыми скоростями.

В статье впервые описываются эксперименты по электрогидравлическому воздействию на водонефтяные эмульсии, образованные с нефтями из разных нефтяных месторождений. Показано, что совместное использование метода электрогидравлического воздействия (метод Юткина) и деэмульгатора на водонефтяные эмульсии увеличивает глубину и скорость ее обезвоживания.

The technological process of watered oil production requires constant search and improvement of the impact on oil emulsions by various physical fields in order to destroy them.

According to a preliminary analysis of patent solutions for the implementation of the method, electrohydraulic effect can be carried out directly on water-oil emulsions or through an intermediate medium with parameters and characteristics controlled in time. In this case, it is supposed to carry out electrohydraulic effect on water-oil emulsions in closed confined spaces — containers for longitudinal movement of the processed fluid at low speeds.

The article describes for the first time experiments on electrohydraulic effect on water-oil emulsions formed with oils from different oil fields. It is shown that the joint use of the method of electrohydraulic effect (Yutkin method) and a demulsifier on water-in-oil emulsions increases the depth and speed of its dehydration.

Ключевые слова

водонефтяные эмульсии;
электрогидравлическое
воздействие; метод Юткина

Key words

water-oil emulsions;
electrohydraulic effect;
Yutkin method

Большой интерес, проявляемый в России и за рубежом к воздействию на водонефтяные эмульсии (ВНЭ) физическими полями, позволяет предположить возможность их эффективного разрушения с помощью электрогидравлических комплексных возмущений. Согласно предварительному анализу патентных решений по реализации метода, электрогидравлическое воздействие (ЭГВ) можно осуществить непосредственно на ВНЭ или через промежуточную среду с контролируемыми во времени параметрами и характеристиками [1–4]. При этом предполагается проводить ЭГВ на ВНЭ в закрытых замкнутых пространствах — емкостях продольного перемещения обрабатываемой жидкости с малыми скоростями.

В данной статье описываются эксперименты по воздействию на нефтяные эмульсии в состоянии течения в трубах через промежуточную среду. Основной целью работы явля-

ется определение влияния ЭГВ на ВНЭ совместно с традиционной термохимической обработкой.

В экспериментах по ЭГВ на ВНЭ электрическим разрядом от 10 до 14 кВт исследовались нефти с месторождений ПАО «Газпром нефть». Для обеспечения разделения эмульсий использовали такие товарные формы деэмульгаторов, как СНПХ-4460, ДМО, Ден-мастер 3020м.26, Рекод 118М, Акватек 600 С. Исследования проводились при комнатной температуре (около 24 °С), а также при температуре технологического процесса, выполняемого на промыслах соответствующих месторождений.

Лабораторный стенд, использованный для исследования воздействия электрогидравлического эффекта на ВНЭ, представлен на рисунке 1 (рабочие параметры стенда — в таблице 1).

- 1 — емкость для подачи исследуемой жидкости; 2 — емкость для приёма исследуемой жидкости; 3 — насосная установка для подачи исследуемой жидкости; 4 — электрод-пластина; 5 — электрод-стержень (ход от 0 до 60 мм); 6 — датчик для определения параметров электромагнитного поля; 7 — датчик температуры; 8 — датчик положения диафрагмы; 9 — образуемый стример при работе установки; 10 — изолятор для электродов; 11 — силовые линии магнитного поля; 12 — корпус ёмкости для исследования; 13 — электродная камера-мембрана из эластичного диэлектрического материала; 14 — исследуемая жидкость; 15 — рабочая жидкость; 16 — уровнемер (или определитель уровня жидкости); 17, 18 — манометр (или датчик давления); 19 — расходомер; 20 — фильтр; 21 — регулятор давления (до себя); 22–34 — запорная арматура для обвязки стенда

Рисунок 1. Схема стенда для исследования воздействия электрогидравлического эффекта на ВНЭ

Таблица 1. Рабочие параметры лабораторного стенда

№ п/п	Параметр	Значение
1	Напряжение питания электродов, кВ	10–21
2	Потребляемая мощность из сети, Вт	480
3	Количество импульсов в минуту, ед.	20, 50 и 100
4	Расстояние между электродами в электродной камере	2,5

На данном лабораторном стенде ЭГВ на ВНЭ осуществлялось через эластичный разделитель на поток воды, перекачиваемой внутри трубопровода с эмульсией.

В процессе исследований определены:

— оптимальные амплитудные частотные спектры силового воздействия, необходимые для достижения соответствующей степени деэмульсации;

— кинетика фазоотделения эмульсий с обводненностью 30 %, 50 %, 80 % в сравнении с гравитационной термохимической деэмульсацией в различных силовых полях;

— зависимость процесса фазоразделения от количества деэмульгатора при различных условиях силового воздействия в сравнении с гравитационным отстоем и обводненности эмульсии 30 %, 50 % и 80 % при различных температурах;

— влияние температуры на процесс фазоразделения при условиях силового воздействия и при гравитационном способе.

В [5] приведена методика выполнения исследований по разрушению эмульсий. С её учетом эксперименты выполнялись по следующему алгоритму.

1. Для проведения испытаний определяется состояние ВНЭ, фиксируются его такие параметры, как обводненность, степень разрушенности и т. д.

2. Через электродную камеру (рисунок 1) посредством пуска насоса производится проток рабочей жидкости — пресной воды, и обеспечивается ее расчетный расход через установку.

3. Посредством переключения запорной арматуры через специальные воронки в верхней части камера заполняется исследуемой жидкостью. После заполнения данная жидкость герметизируется.

4. В камеру с рабочей жидкостью на электроды 4 и 5 подается импульсный разряд тока высокого напряжения, вследствие чего происходит пробой рабочей жидкости.

5. В результате пробоя рабочей жидкости кратковременно образуются стримеры 11, вокруг которых мгновенно на короткое время:

— образуются зоны повышенного давления в электродной камере, и происходит передача гидравлического удара через мембрану 13 в камеру, где находится исследуемая жидкость 14;

— образуются волны электромагнитного поля высокой напряженности 11 в направлении, перпендикулярном движению стримеров, которые распространяются за пределы электродной камеры за счет того, что стенки мембраны 13 выполнены из немагнитного материала, т. е. происходит импульсное воздействие на эмульсию, при этом образуются ультразвуковые волны, которые также воздействуют на исследуемую жидкость.

6. Мощность стримеров (разрядов) регулируется расстоянием между электродами в специальном разряднике, который входит в состав источника питания. При изменении расстояния изменяется напряжение пробоя в промежутке от 10 до 21 кВ.

7. По окончании исследования жидкость сливают в двухлитровую ёмкость и подвергают лабораторному анализу.

8. Для исследования влияния реагента на процесс разрушения эмульсии с учетом воздействия на нее электрогидравлического поля в процессе исследования в ёмкость 1 добавлялось расчетное количество реагента — деэмульгатора.

9. Фиксируемые параметры во время исследования:

— время воздействия;

— количество импульсов за единицу времени;

— параметры электромагнитного поля в камере;

— затраченная мощность на единицу импульса и на серию импульсов.

10. Искусственную эмульсию готовят из безводной нефти и пластовой воды. Содержание воды в искусственной ВНЭ должно быть в пределах от 40 % до 50 %. При невозможности отбора пластовой воды используют модель пластовой воды соответствующей плотности, приготовленную с водорастворимыми солями на основе шестикомпонентного

анализа. Перемешивание нефти и воды производят в сосуде цилиндрической формы с помощью мешалки пропеллерного типа. Может быть использована мешалка другого типа (например поршневая), обеспечивающая получение эмульсии заданной степени дисперсности. После включения двигателя мешалки в сосуд, предварительно заполненный расчетным количеством нефти, порциями доливают необходимое количество пластовой воды. Объем порции эмульсии, приготавливаемой за один прием, может составлять до 400 мл. Скорость вращения мешалки (3000 об/мин) и время перемешивания (не более 2 ч) подбирают таким образом, чтобы обеспечить получение эмульсии с необходимой степенью дисперсности (от 2 до 40 мкм). Образцы приготовленной таким образом искусственной ВНЭ выдерживают до проведения экспериментов 2 ч, что в промышленных условиях соответ-

ствует времени прохождения эмульсии от скважины до точки подачи реагента. За это время происходит формирование бронирующих оболочек в объеме ВНЭ.

В ходе наших экспериментов ВНЭ, приготовленные вышеописанным способом, подвергались электроударам с частотами 20, 50 и 100 мин⁻¹ в присутствии деэмульгатора и без него. При этом установлено, что практически во всех экспериментах наблюдается в той или иной степени улучшение расслоения ВНЭ при воздействии электрогидравлическим ударом в присутствии деэмульгаторов.

На рисунке 2 представлена осциллограмма импульсов ЭГВ с частотой 100 мин⁻¹ и с соответствующей мощностью разряда ЭГВ, равной 19,318 Вт.

По полученным результатам строились расчетные кривые отделившейся воды в ВНЭ во времени (рисунок 3).

Рисунок 2. Осциллограмма импульсов давления при 100 импульсах

Рисунок 3. Кинетика деэмульсации искусственной ВНЭ с обводненностью 50 % (с нефтью нефтяного месторождения). Деэмульгатор — Денмастер 3020 м. Дозировка деэмульгатора (ДЭ) 10 г/т

Установлены следующие закономерности динамики отстоя эмульсий:

— без применения деэмульгатора ЭГВ не приводит к какому-либо расслоению эмульсий;

— наибольшая эффективность ЭГВ наблюдается примерно в первые 60 мин отстоя. Количество расслоившейся воды за этот период в зависимости от типа нефти, температуры жидкости, количества деэмульгатора и частоты ЭГВ достигает 10–35 %;

— при достаточно больших дозировках деэмульгатора кинетика деэмульсации во всех случаях сохраняет зависимость от частоты ЭГВ;

— наихудшее расслоение водной фазы при 120-минутном отстое наблюдается у нефти нефтяного месторождения, которая характеризуется высокой вязкостью, при комнатной температуре. Но уже при температуре 41 °С (обводненность эмульсии 80 %) происходит полное расслоение воды при ЭГВ с частотой 50 мин⁻¹.

Выводы

1. ЭГВ на ВНЭ заметно ускоряет термохимическое обезвоживание обратных эмуль-

сий, причём эффективность фазоразделения пропорциональна частоте ЭГВ на эмульсию.

2. Положительный эффект метода ЭГВ (метод Юткина) по фазоразделению эмульсии особенно заметен в первый час отстоя, что, очевидно, связано с более эффективным воздействием поля на крупнодисперсную фракцию.

3. Увеличение дозировки деэмульгатора в общей сложности повышает эффективность ЭГВ.

4. Увеличение температуры процесса ожидаемо положительно отражается на фазоразделении.

5. Наиболее благоприятные условия применения метода Юткина имели место при обводненности ВНЭ 50 % и более.

7. Без применения деэмульгатора эффективность применения метода Юткина отсутствует.

Исследование выполнено за счет средств ООО «Газпромнефть НТЦ».

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. 124805 СССР, МПК F 04 F 1/18. Гидравлический объемный насос / Л.А. Юткин, Л.И. Гольцова. 621418/25, Заявлено 07.03.1959; Оpubл. 1959. Бюл. 23.
2. Пат. 1526737 СССР, МПК В 01 D 17/06. Способ обезвоживания и обессоливания нефти / А.А. Ишмурзин, Б.З. Султанов, А.Р. Брот. 4184267, Заявлено 19.01.1987; Оpubл. 07.12.1989. Бюл. 45.
3. Пат. 2099290 РФ, МПК С 02 F 1/48. Способ очистки сточных вод нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств от растворенных фенолов и нефтепродуктов / Е.А. Демьяненко, А.К. Карибов, И.И. Шепелев, В.П. Твердохлебов, Н.М. Чуботенко, А.П. Хузеев, А.И. Титовская. 96105609/25, Заявлено 22.03.1996; Оpubл. 20.12.1997.
4. Пат. 2539653 РФ, МПК С 10 G 33/02. Способ обезвоживания углеводородного сырья и устройство для его осуществления / Р.И. Алимбеков, А.С. Шулаков, В.Г. Акшенцев, С.Н. Греков, В.А. Докичев, С.Р. Алимбекова. 2014102171/04, Заявлено 23.01.2014; Оpubл. 20.01.2015. Бюл. 2.
5. РД 153-39.0-313-03. Методика испытаний подбора и контроля использования деэмульгаторов при промысловой подготовке нефти. Бугульма: ТатНИПИнефть, 2003. 61 с.

REFERENCES

1. Yutkin L.A., Goltsova L.I. *Gidravlicheskiy ob'emnyy nasos* [Hydraulic Positive Displacement Pump]. Patent USSR, No. 124805, 1959. [in Russian].
2. Ishmurzin A.A., Sultanov B.Z., Brot A.R. *Sposob obezvozhivaniya i obessolivaniya nefiti* [Method of Dehydration and Desalting of Oil]. Patent USSR, No. 1526737, 1989. [in Russian].
3. Demyanenko E.A., Karibov A.K., Shepelev I.I., Tverdokhlebov V.P., Chubotenko N.M., Khuzeev A.P., Titovskaya A.I. *Sposob ochistki stochnykh vod neftekhimicheskikh i neftepererabatyvayushchikh proizvodstv ot rastvorenykh fenolov i nefteproduktov* [Method of Treating Waste Waters from Petrochemical and Petroleum-Processing Enterprises to Remove Dissolved Phenols and Petroleum Products]. Patent RF, No. 2099290, 1997. [in Russian].
4. Alimbekov R.I., Shulakov A.S., Akshentsev V.G., Grekov S.N., Dokichev V.A., Alimbekova S.R. *Sposob obezvozhivaniya uglevodorodnogo syr'ya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method for Hydrocarbon Material Dehydration and Device for Implementing It]. Patent RF, No. 2539653, 2015. [in Russian].
5. *RD 153-39.0-313-03. Metodika ispytaniy podbora i kontrolya ispol'zovaniya deemul'gatorov pri promyslovoi podgotovke nefiti* [RD 153-39.0-313-03. Test Procedure for the Selection and Control of the Use of Demulsifiers during Field Treatment of Oil]. Bugulma, TatNIPIneft' Publ., 2003. 61 p. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
ABOUT THE AUTHORS

Валеев Марат Давлетович, д-р техн. наук, профессор, технический директор ООО НПП «ВМ система», г. Уфа, Российская Федерация

Marat D. Valeev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Technical Director of LLC SPE «VM system», Ufa Russian Federation

e-mail: vm5943@mail.ru

Ахметгалиев Ринат Закирович, канд. техн. наук, заместитель технического директора ООО НПП «ВМ система», г. Уфа, Российская Федерация

Rinat Z. Akhmetgaliev, Candidate of Engineering Sciences, Deputy Technical Director of LLC SPE «VM system», Ufa Russian Federation

e-mail: rinat5223@mail.ru

Ахметгалиев Альберт Ринатович, эксперт ООО НПП «ВМ система», г. Уфа, Российская Федерация

Albert R. Akhmetgaliev, Expert of LLC SPE «VM system», Ufa Russian Federation

e-mail: albertar@mail.ru

Грехов Иван Викторович, директор программ технологического развития, ООО «Газпромнефть НТЦ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Ivan V. Grekhov, Director of Technological Development Programs, Gazpromneft STC LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: GREKHOV.IV@gazprom-neft.ru

Тарасевич Сергей Алексеевич, начальник управления инфраструктуры и экспертизы проектов, ООО «Газпромнефть НТЦ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Sergey A. Tarasevich, Head of Infrastructure and Projects Evaluation Section, Gazpromneft STC LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: Tarasevich.SA@gazprom-neft.ru

Богданов Александр Владимирович, руководитель программ подготовки и сдачи нефти и системы поддержания пластового давления, ПАО «Газпром нефть», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Aleksandr V. Bogdanov, Head of Oil Preparation and Delivery Programs and Reservoir Pressure Maintenance Systems, Gazprom нефть PJSC, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: Bogdanov.AV@gazprom-neft.ru