

А. М. Ермеев, А. А. Елпидинский

О ПРИМЕНЕНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПРОЦЕССАХ РАЗРУШЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Ключевые слова: нефть, эмульсия, деэмульгирование, магнетизм, поле.

В работе рассмотрен опыт применения магнитного поля в процессе обезвоживания нефти. Выдвинуто предположение о природе влияния постоянного и переменного магнитных полей на нефтяные эмульсии. Даны теоретические предпосылки, позволяющие сформировать научный подход к оценке поведения нефтяных систем в магнитном поле.

Keywords: oil, emulsion, demulsification, magnetism, field

This paper describes the experience of the application of magnetic fields during the oil dehydration. Speculate that the nature of the influence of direct and alternating magnetic fields on the oil emulsion. Are given theoretically prerequisites allowing create a scientific approach to the assessment of the behavior of petroleum systems in a magnetic field.

Введение

В процессе добычи нефти и совместного движения её с пластовой водой образуются устойчивые нефтяные эмульсии с различным содержанием в ней воды.

Использование добываемой нефти возможно при условии удаления из неё эмульгированной воды, так как присутствие солей в пластовой воде способствует коррозии оборудования, нейтрализует катализаторы нефтехимических процессов, повышает зольность конечных продуктов переработки нефти [1].

Основным процессом подготовки нефти до товарных кондиций на установках подготовки нефти является процесс её обезвоживания. В основе технологии обезвоживания лежит процесс разрушения водонефтяных эмульсий, заключающийся в превращении их из устойчивого мелкодисперсного состояния в кинетически неустойчивую, крупнодисперсную расслаивающуюся систему.

Можно выделить три основные стадии процесса деэмульсации и традиционно применяемые при них методы:

I - Разрушение бронирующих оболочек (термохимический метод)

II - Укрупнение капель (применение электрических полей, промывка эмульсии в слое воды)

III - Разделение фаз (гравитационное отстаивание) [2].

Общепринято представление, что бронирующий слой глобулы представляет собой гелеобразную плёнку, состоящую из слоя асфальтеновых и смолистых соединений, адсорбированных из нефти на поверхность раздела фаз «нефть-вода», затем - слоя осадившихся на них твердых парафинов и механических примесей. Таких слоёв может быть до нескольких десятков. Именно в разрушении бронирующего слоя лежит главная задача процесса деэмульсации.

В течение последних лет в нефтяной промышленности наблюдается устойчивая

тенденция к ухудшению структуры запасов нефти, что проявляется в росте объемов трудноизвлекаемой нефти, увеличении количества вводимых в разработку месторождений с осложненными геолого-физическими условиями, повышении удельного веса карбонатных коллекторов с высокой вязкостью нефти, наличии большого количества залежей с обширными нефтегазовыми зонами и подстилаемых подошвенной водой т.д. [3].

Это приводит к увеличению себестоимости добычи и подготовки нефти на промыслах традиционными способами и заставляет вести научный поиск альтернативных способов подготовки нефти. К таким способам можно отнести воздействия на нефть полей различной физической природы: нагревание микроволновым излучением, обработка инфра- и ультразвуком в роторно-пульсационных акустических аппаратах, радиационное воздействие. Одним из интересных, на сегодняшний день, нетрадиционных методов деэмульгирования считается обработка магнитными полями.

Магнитная обработка водных систем проводится давно. Есть сведения, что такие опыты проводил ещё М. В. Ломоносов. Первый патент на магнитную обработку воды с целью её «умягчения» был получен в Германии в 1892 году. В настоящее время известны тысячи публикаций, посвященных магнитной обработке различных жидкостей.

В последние годы предпринималось множество попыток применения магнитного и вибрационного полей для улучшения расслоения промысловых эмульсий. Среди них следует отметить работы В.В. Леоненко, Г.А. Сафонова, А.В. Сорокина, А.Я. Хавкина и других. В своих работах В.И. Лесин, А.Х. Мирзаджанзаде и другие показали достаточную эффективность магнитной обработки промысловых сред. Перспективность данного направления обосновали научно-исследовательские работы, проведенные в Новочеркасском политехническом институте, Московском энергетическом институте, Азербайджанском государственном научно-исследовательском и проектном институте нефти,

Уфимском государственном нефтяном техническом университете и других организациях. Однако общим и главным недостатком проведенных исследований является отсутствие нацеленности на изучение механизма происходящих при этом процессов.

При весьма широком внедрении магнитной обработки жидкостей отсутствует в полной мере разработанная теория, которая позволяла бы на основе данных о жидкости проектировать промышленные аппараты и технологии. Поэтому для разработки новых магнитных аппаратов проводят лабораторные исследования, на основе которых определяют и выбирают параметры магнитного поля, необходимого для воздействия на ту или иную жидкость [4].

Магнитные свойства нефтяных систем

Реальные объекты могут обладать как положительными, так и отрицательными магнитными восприимчивостями. Примером веществ с отрицательной восприимчивостью могут служить диамагнетики (вода, углекислый газ, многие органические соединения) — их намагниченность по направлению противоположна приложенному магнитному полю. Положительной восприимчивостью обладают, например, парамагнетики (медь, алюминий, жидкий кислород) и, в намного более высокой степени, ферромагнетики (магнетит, сталь) [5].

Магнитная восприимчивость — величина безразмерная. Объёмная магнитная восприимчивость χ равна отношению намагниченности единицы объёма вещества J к напряжённости H намагничивающего магнитного поля: $\chi = J / H$. Магнитная восприимчивость, рассчитанная на 1 кг (или 1 г) вещества, называется удельной ($\chi_{уд} = \chi / \rho$, где ρ — плотность вещества), а магнитная восприимчивость одного моля — молярной: $\chi_m = \chi_{уд} \times M$, где M — молекулярная масса вещества.

Магнитная восприимчивость диамагнетиков и парамагнетиков мала и составляет величину порядка 10^{-4} — 10^{-6} , при этом она практически не зависит от напряжённости приложенного магнитного поля. Заметные отклонения наблюдаются только в области сильных полей или низких температур.

В ферромагнетиках магнитная восприимчивость может достигать весьма больших значений, составляя величины от нескольких десятков до многих тысяч единиц, причём наблюдается её сильная зависимость от напряжённости приложенного поля [6].

Примеры магнитной восприимчивости некоторых веществ представлены в таблице 1.

Все из вышеперечисленных представителей магнетиков присутствуют в составах нефтей. Но, практически целиком, это вещества диамагнитной природы (вода и углеводороды). Парамагнетики и ферромагнетики существуют в нефтях в значительно меньших количествах. Они представлены различными металлами и их соединениями (солями, оксидами, гидроксидами).

Таблица 1 - Атомная (молярная) магнитная восприимчивость воды и некоторых органических веществ

Вещество	$\chi_m \cdot 10^{-6}$
H ₂ O (жидкость)	– 13,0 (0 °C)
CO ₂ (газ)	– 21
Анилин C ₆ H ₇ N	– 62,95
Бензол C ₆ H ₆	– 54,85
Дифениламин C ₁₂ H ₁₁ N	– 107,1
Метан CH ₄ (газ)	– 16,0
Октан C ₈ H ₁₈	– 96,63
Нафталин C ₁₀ H ₈	– 91,8

Вероятно, что причиной разделения нефтяной эмульсии в постоянном магнитном поле, является различная магнитная восприимчивость воды и компонентов нефти, вследствие чего возникает разность потенциалов, появляется движущая сила и наблюдается расслоение.

Диамагнетизм свойственен всем веществам. При внесении какого-либо тела в магнитное поле, в его электронной оболочке, в силу закона электромагнитной индукции, возникают индуцированные круговые токи, т. е. добавочное круговое движение электронов вокруг направления поля. Эти токи создают в теле индуцированный магнитный момент, направленный, согласно правилу Ленца, навстречу внешнему полю (независимо от того, имелся ли первоначально у тела собственный магнитный момент и как он был ориентирован). Таким образом, диамагнетики намагничиваются против поля.

В веществе диамагнетизм может перекрываться в большей или меньшей степени электронным или ядерным парамагнетизмом, ферромагнетизмом или антиферромагнетизмом. У чисто диамагнитных веществ электронные оболочки не обладают постоянным моментом. Моменты, создаваемые отдельными электронами в таких веществах, в отсутствие внешнего поля, взаимно скомпенсированы. В частности, это имеет место в ионах и молекулах с целиком заполненными электронными оболочками, например, в инертных газах [7].

Для изучения диа- и парамагнитных свойств различных веществ используются сверхсильные электромагниты, а также крутильные или коромысловые весы.

Опыты применения магнитного поля для обработки водонефтяных систем

Многочисленными опытами доказано, что удлиненный образец диамагнетика в однородном поле ориентируется перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. Из неоднородного магнитного поля он выталкивается в направлении уменьшения напряженности поля. Такой же образец парамагнетика ориентируется в однородном поле параллельно силовым линиям и притягивается к какому либо из полюсов. Также известно, что в магнитном поле жидкие и газообразные

парамагнетики (жидкий кислород) прилипают к полюсам магнита, а диамагнетики выталкиваются из магнитного поля (струя воды или углекислый газ в пламени). Продолговатые стеклянные контейнеры, свободно висящие на нитях, содержащие растворы диамагнетиков, ориентируются перпендикулярно направлению силовых линий, а растворы парамагнетиков - параллельно.

Таким образом, гипотетически, на третьей стадии деэмульсации (см. во введении), применением сверхсильных магнитных полей можно добиться разделения водонефтяной эмульсии путём выталкивания нефтяной фазы, как более сильного диамагнетика, по сравнению с водой, в направлении ослабления магнитного поля, как параллельно, так и перпендикулярно магнитным линиям. Иными словами, магнитным полем можно усовершенствовать гравитационное разделение фаз — заключительную стадию процесса деэмульсации.

Иначе дело обстоит с первой и второй стадиями деэмульсации, в которых необходимо разрушить бронирующий слой и укрупнить глобулы, и, как подтверждают данные промышленного применения магнетизаторов, здесь эффект применения магнитных полей весьма значителен.

В своей диссертации [8] Вольцов А.А. выдвинул предположение о том, что основным механизмом разрушения водонефтяных эмульсий в магнитном поле является его воздействие на бронирующие оболочки глобул нефти в воде, заключающееся в разрыхлении бронирующих оболочек на границе нефть – вода, вследствие перемещения в них соединений железа в сторону источников магнитного поля. Данное предположение, впрочем, требует глубокого исследования нефтяных эмульсий, а именно, определения количества соединений железа в нефти и самого факта непосредственного их нахождения в бронирующем слое, в достаточном, по предположению Вольцова А.А., для деэмульсации количестве.

Исходя из вышеизложенных теоретических предпосылок, было выдвинуто предположение, что в однородном магнитном поле, каждая глобула нефти, в эмульсии типа «нефть в воде», испытывает изменение своей геометрической формы, а именно, сплющивается параллельно магнитным линиям, так как компоненты нефти имеют намного более сильную отрицательную магнитную восприимчивость, нежели вода (см. таблицу 1). В эмульсии же обратного типа, «вода в нефти», глобула воды растягивается вдоль магнитных линий, испытывая давление окружающей её нефти, подвергающейся в разы более сильному диамагнитному выталкиванию, нежели вода. А при изменении геометрической формы глобулы с шара на любую другую, априори, будет увеличиваться площадь её поверхности, а толщина бронирующего слоя, тем самым, уменьшаться, что является одной из главных составляющих процесса деэмульсации.

Известно, что материалы разрушаются быстрее, испытывая пульсирующую нагрузку,

нежели статическую. Отсюда, следует предположение, что при помещении эмульсии в переменное однородное магнитное поле будет происходить циклическое растяжение бронирующего слоя, причём в асфальтовых и парафиновых его слоях могут появляться трещины, по которым молекулы деэмульгатора могут проникнуть непосредственно к поверхности раздела фаз нефть - вода. Также, из за того, что асфальтены, смолы и парафины имеют разную магнитную восприимчивость, трещины в бронирующем слое могут появиться и вследствие того, что на каждую прослойку бронирующей оболочки действует пульсационная нагрузка разной величины. Иными словами, парафиновый и, например, асфальтовый слои растягиваются в магнитном поле с разной силой. Подтверждением вышеизложенного является то, что в ряде источников утверждается о малой эффективности постоянного магнитного поля, по сравнению с переменным.

Сама пульсационная нагрузка в теле глобулы возникает из-за частого изменения напряжённости магнитного поля, от нуля до максимума, вследствие частой смены полюсов электромагнита. Это хорошо видно на синусоиде отображающей течение переменного электрического тока. Другой способ получения пульсационного магнитного поля однородного характера, а именно с помощью постоянных магнитов, был реализован на специальных промышленных установках, предназначенных для магнитной обработки закачиваемой в пласт жидкости [9]. Впрочем, применение таких устройств непосредственно на промыслах для деэмульсации (прокачки через них эмульсий) ограничено.

Однако затруднительно добиться знакопеременной механической нагрузки на глобулы, т.е и растягивать и сплющивать глобулы в одном процессе из за того, что диамагнетики всегда выталкиваются из магнитного поля в сторону его ослабления, вне зависимости от направления его силовых линий.

Данным предположением объясняются многочисленные результаты исследований, например, исследование влияния магнитной обработки на время расслоения и динамики отстоя нефтяных эмульсий Арланского и Волковского, Южно-Янгунского и Ватьеганского месторождений путем однократного пропускания эмульсии из делительной воронки через индуктор. По результатам этих испытаний был сделан вывод, что магнитную обработку нефтяных эмульсий следует проводить переменным полем с частотой 30 Гц, со знакопеременной и импульсной формами изменения напряжённости.

Заключение

Таким образом, видно, что особенности магнитных взаимодействий позволяют предполагать различные механизмы разрушения эмульсий под действием магнитного поля. Что происходит в действительности – предмет дальнейших исследований, в том числе на кафедре ХТПНГ, с

использованием широкого спектра приборов анализа.

Литература

1. Фазулзянов, Р.Р. Исследование деэмульгирующих и поверхностных свойств композиционных реагентов для нефтепромыслов [Текст] / Р.Р. Фазулзянов, А.А. Елпидинский, А.А. Гречухина // Вестник Казанского Государственного Технологического Университета. – 2011. – №10. – С. 169-172
2. Байков Н.М., Позднышев Г.Н., Мансуров Р.И. Сбор и промысловая подготовка нефти, газа и воды. М.: Недра. – 1981. – 261 с.
3. Магадова Л.А., Силин М.А., Магадов В.Р., Малкин Д.Н., Дьяченко В.С., Пономарева В.В. Исследование углеводородных гелей на основе железных солей органических ортофосфорных эфиров, применяемых в технологии направленной кислотной обработки карбонатного пласта. Территория Нефтегаз. – 2011. – №6. – С. 34-37
4. Ибрагимов Н.Г., Хафизов А.Р., Шайдаков В.В. и др. Осложнения в нефтедобыче. Уфа: «Монография». – 2003. – 302 с.
5. Гадиев, Т.А. Измерение магнитной восприимчивости диамагнетиков и парамагнетиков индукционным методом с использованием дифференциального трансформатора [Текст] / Т.А. Гадиев, В.А. Куркачева, Р.Н. Гайнуллин // Вестник Казанского Государственного Технологического Университета. – 2013. – №1. – С. 30-31
6. Вонсовский С. В.. Магнетизм. М.: Наука. – 1971. – 1032 с.
7. Дорфман Я. Г. Свойства и строение вещества. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы – 1955. – 337 с.
8. Вольцов А.А. Интенсификация процесса расслоения водонефтяных эмульсий путем их магнитно-вибрационной обработки. Канд.диссертация. Уфа: УГНТУ. –2006. – 122 с.
9. Н.В. Инюшин, Е. И. Ишемгузин, Л.Е. Каштанова, А.Б. Лаптев, В.И. Максимочкин, Ф.Р. Хайдаров, В.В. Шайдаков. Аппараты для магнитной обработки жидкостей. Уфа: Государственное издательство научно-технической литературы «Реактив». – 2001. - 147 с.

© А. М. Ермеев - магистр каф. химической технологии переработки нефти и газа КНИТУ, arthur.ermeev@mail.ru;
А. А. Елпидинский – канд. техн. наук, доц. той же кафедры, sinant@yandex.ru.