

СЕПАРАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ЖИДКОСТИ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

*Башкирский государственный университет,
ул. Фрунзе, 32, г. Уфа, 450074, Башкортостан, Россия*

Введение

Изучение взаимодействия высокочастотных и сверхвысокочастотных электромагнитных волн с различными средами представляет интерес в связи с острой необходимостью решения ряда академических, технологических и технических проблем. Речь идет о создании способов и устройств ввода этих волн в разнообразные научно-технические и технологические системы, о разработке методов и датчиков для измерения температуры, давления и других физических параметров в средах, взаимодействующих с волнами, о методах расчета уравнений теплопроводности с объемными источниками тепла, об анализе результатов экспериментальных исследований и теоретических оценках возникающих при этом эффектов [1–18]. Наибольшую трудность эти задачи представляют для нефтегазовых технических систем и сред. Несмотря на очевидную важность применения энергии высокочастотных и сверхвысокочастотных электромагнитных полей (ЭМП) в нефтяной и газовой промышленности, в научной литературе освещают в основном тепловые и гидродинамические процессы, происходящие в нефтенасыщенных пластах [1, 3, 8–15]. Как показывает обзор литературы, физико-химические процессы, происходящие в средах (не только в нефтесодержащих) в ЭМП, недостаточно исследованы. Имеются лишь некоторые предварительные данные об исследованиях дегазации углеводородной жидкости в ВЧ ЭМП [3–5, 19–21]. Между тем исследования особенностей дегазации сред и других физико-химических процессов, происходящих в них, могут быть использованы для установления оптимальных режимов воздействия на них, в частности, для определения оптимальных условий добычи нефти с использованием энергии ВЧ и СВЧ ЭМП.

Экспериментальная установка

На рис. 1 представлена блок-схема экспериментальной установки для исследования физико-химических явлений в дисперсных системах в ВЧ ЭМП.

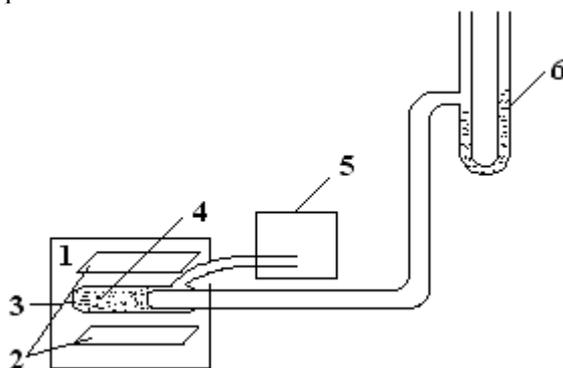


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки. 1 – ВЧ генератор; 2 – обкладки конденсатора; 3 – реактивная камера; 4 – исследуемая дисперсная среда; 5 – газометр; 6 – газовый термометр.

Основными частями установки являются источник ВЧ электромагнитной энергии, реактивная камера и контрольно-измерительная аппаратура.

Источником ВЧ энергии служит генератор типа ВЧД-3-6/81. Основные технические данные и характеристики этой установки следующие: колебательная мощность – $6 \pm 0,6$ КВт, мощность, потребляемая от сети – не более 11,7 КВт, рабочая частота – $81,36 \pm 0,8136$ МГц.

Реактивная камера представляет собой цилиндрическую стеклянную трубку внутренним диаметром 25 мм и длиной 50 см. Выбор трубки из стекла обусловлен необходимостью визуального наблюдения за процессами, происходящими в среде, заполняющей камеру.

Контрольно-измерительная часть установки включает в себя микрогазомер и газовый термометр. Газовый термометр представляет собой U-образную трубку, заполненную водой и работающую на принципе сообщающихся сосудов. Действие микрогазомера основано на измерении объема жидкости (воды), вытесненной из емкости, соединенной с реактивной камерой. Погрешность микрогазомера составляла $0,2 \text{ см}^2$, а газового термометра – 2 К.

Реактивная камера 3 помещается горизонтально между обкладками 2 плоского конденсатора, являющегося одним из основных узлов ВЧ источника 1. Исследуемая дисперсная среда 4 подвергается воздействию ВЧ ЭМП. В ней возникают различные физико-химические процессы: нагрев среды, выделение из нее газа, создание и ускорение течения жидкости в пористой среде (в случае заполнения камеры насыщенной жидкостью пористой средой), ускорение диффузии в фильтрационных потоках и др. Интенсивность их протекания зависит от мощности ВЧ ЭМП, создаваемой между обкладками конденсатора. Изменяя расстояние между ними, при фиксированной частоте целенаправленно регулируется мощность ВЧ ЭМП.

Результаты и обсуждение

Рабочей средой являлась битумная нефть Мордово-Кармальской залежи Республики Татарстан со следующими характеристиками: плотность – 953 кг/м^3 , вязкость – $1253 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ при температуре 293 К, содержание масел – 74,1 %, смол – 18,3 %, относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon' = 2,65$, тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = 0,038$.

В процессе ВЧ воздействия происходило выделение газа из нефти, количество которого фиксировалось в определенные моменты времени. Одновременно контролировалось изменение температуры T в трубке газовым термометром. По этим данным рассчитывалась динамика накопленного газового фактора Γ (отношение объема газа, выделившегося из нефти, к начальному объему нефти) и скорость дегазации нефти $\bar{\Gamma}$ (отношение объема газа, выделившегося из нефти в единицу времени, к начальному объему нефти).

На рис. 2 представлена зависимость изменения накопленного газового фактора нефти от времени электромагнитного воздействия. Поглощенная исследуемой средой мощность ЭМП составила 50 Вт, что оценивалось из условия теплового баланса. Как следует из рис. 2, выделение газа из исследуемой нефти начинается приблизительно через 60 с после включения ВЧ генератора. Это связано, по-видимому, с неоднородностями, вследствие которых происходит локальный интенсивный нагрев. Процесс газовой выделению идет быстро, стабилизируется и прекращается. На рис. 3 предпоследняя точка соответствует моменту прекращения дегазации нефти. Динамику газовой выделению наиболее отчетливо можно проследить по изменению скорости дегазации нефти. В дальнейшем газовой выделению прекратилось и из камеры начала вытекать газожидкостная смесь. При этом температура в камере равнялась $65\text{--}70 \text{ }^\circ\text{C}$ (что следует из рис. 4). На этом рисунке $\Delta T = T - T_0$, $T_0 = 295 \text{ К}$. После появления смеси ВЧ воздействие было прекращено для контроля за состоянием нефти. Наблюдения показали, что внутри камеры образовались три среды: внизу твердые отложения, над ними вода и нефть. С целью исследования их дальнейшего поведения возобновили ВЧ электромагнитное воздействие. При этом твердые отложения разложились и из камеры начала вытекать некоторая смесь, которая после отстойки разделилась на нефть и воду. На рис. 5 показано количество жидкости, вытекающей из камеры при ВЧ воздействии в течение 11 минут без внешнего перепада давления.

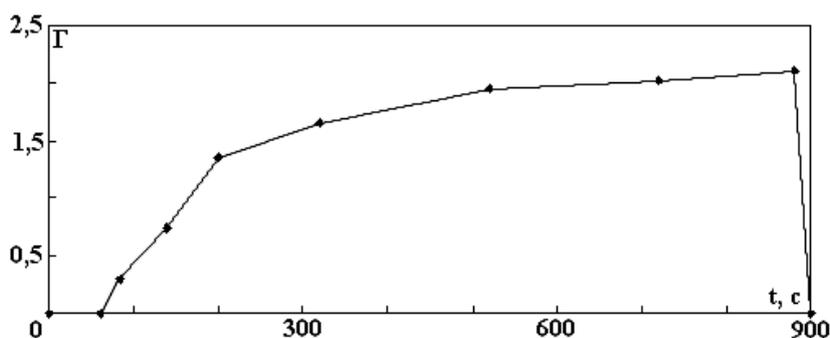


Рис. 2. Изменение накопленного газового фактора нефти со временем.

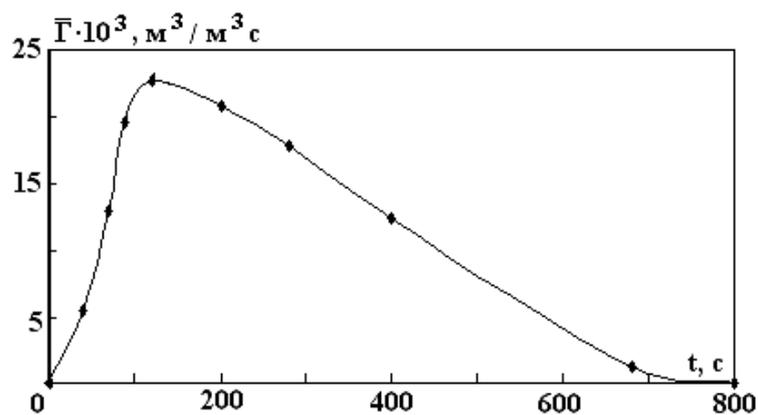


Рис. 3. Изменение скорости дегазации нефти во времени.

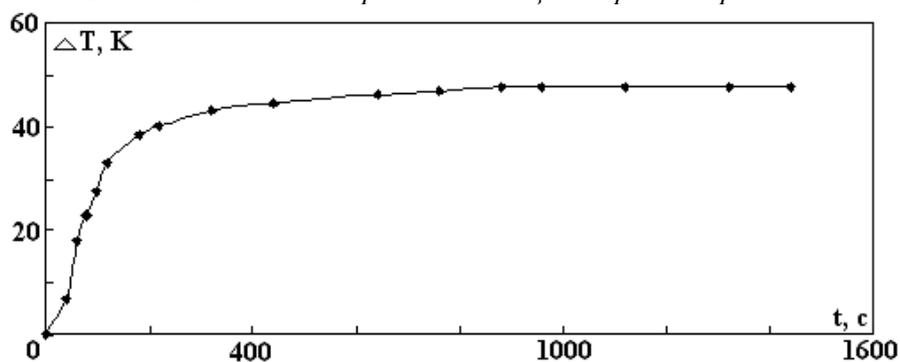


Рис. 4. Изменение температуры нефти в реактивной камере со временем.

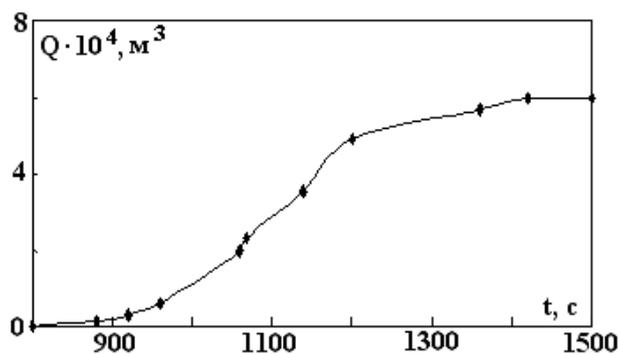


Рис. 5. Динамика вытеснения углеводородной смеси из реактивной камеры.

Следует также отметить, что на рис. 4 последние четыре точки соответствуют значениям температур жидкости, измеренным на выходе из камеры ртутным термометром. Закономерный ход кривой температуры свидетельствует о достоверности результатов измерений ее газовым термометром.

Результаты экспериментов позволяют сделать выводы, что ВЧ воздействие производит также деэмульсацию и обезвоживание нефти. Прекращение воздействия при температуре ниже $60\text{--}70^\circ\text{C}$ приводит к закупорке пор. ВЧ воздействие производит глубокую объемную дегазацию углеводородов. Такие же физико-химические эффекты могут иметь место и при разложении газовых гидратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хабибуллин И.Л. Электромагнитная термогидромеханика поляризующихся сред. Уфа, 2000.
2. Вахитов Г.Г., Кузнецов О.Л., Симкин Э.М. Термодинамика призабойной зоны нефтяного пласта. М., 1978. С. 86–95.
3. Саяхов Ф.Л., Фатыхов М.А., Насыров Н.М. Исследования воздействия высокочастотного электромагнитного поля на трудноизвлекаемые углеводороды // Сб. научных трудов: Межвузовская научно-техническая программа Нефтегазовые ресурсы. М., 1994. С. 84–88.

4. *Фатыхов М.А.* Исследование особенностей взаимодействия высокочастотного электромагнитного поля с бинарными системами // Труды Стерлитамакского филиала Академии наук Республики Башкортостан. Серия: Физико-математические и технические науки. Вып. 2. Уфа, 2001. С. 93–96.
5. *Фатыхов М.А.* Теплофизические особенности взаимодействия высокочастотного электромагнитного поля с многофазными средами: Дис... докт. физ.-мат. наук. Тюмень, 1997.
6. *Саяхов Ф.Л., Фахретдинов И.А.* Пондеромоторные силы в диспергирующих жидких диэлектриках. Область нормальной дисперсии // Изв. вузов: Физика. 1981. № 3. С. 60–64.
7. *Аскаръян Г.А., Холодилов А.А.* Взаимодействие СВЧ луча с жидкостью, преобразование энергии, прикладные аспекты // Успехи физических наук. 1984. Т. 144. Вып. 3. С. 505–508.
8. *Саяхов Ф.Л.* Фильтрация диэлектрической жидкости при воздействии высокочастотного электромагнитного поля // Физико-химическая гидродинамика: Межвузовский сб. Уфа, 1983. С. 161–170.
9. *Зыонг Нгок Хай, Кутушев А.Г., Нигматулин Р.И.* К теории фильтрации жидкости в пористой среде при объемном нагреве высокочастотным электромагнитным полем // Прикладная математика и механика. 1987. Т.51. Вып. 1. С. 29–38.
10. *Зыонг Нгок Хай, Мусаев Н.Д., Нигматулин Р.И.* Автомодельные решения задачи тепло- и массопереноса в насыщенной пористой среде с объемным источником тепла // Прикладная математика и механика. 1987. Т. 51. Вып. 6. С. 973–983.
11. *Зыонг Нгок Хай, Нигматулин Р.И.* Нестационарная одномерная фильтрация жидкости в насыщенной пористой среде при наличии объемного источника тепла // Изв. АН СССР: Механика жидкости и газа. 1991. № 4. С. 251–257.
12. *Саяхов Ф.Л., Имашев Н.Ш., Насыров Н.М.* Депарафинизация призабойной зоны ВЧ электромагнитными полями // Физико-химия и разработка нефтегазовых месторождений. Уфа, 1989. С. 111–116.
13. *Кислицын А.А., Нигматулин Р.И.* Численное моделирование процесса нагрева нефтяного пласта высокочастотным электромагнитным излучением // Прикладная механика и техническая физика. 1990. № 4. С. 59–64.
14. *Кислицын А.А.* Численное моделирование прогрева и фильтрации нефти в пласте под действием высокочастотного электромагнитного излучения // Прикладная механика и техническая физика. 1993. № 3. С. 97–103.
15. *Саяхов Ф.Л., Хабибуллин И. Л., Насыров Н.М.* Температурное поле в пористой среде при воздействии электромагнитных полей с учетом фазовых переходов, насыщающей фазы // Межвуз. сб.: Физико-химическая гидродинамика. Уфа, 1985. С. 44–51.
16. *Некрасов Л.Б.* Основы электротермомеханического разрушения мерзлых грунтов. Новосибирск, 1979.
17. *Хабибуллин И. Л., Насыров Н.М.* Математическое моделирование диссоциации газовых гидратов в переменном электромагнитном поле // Фильтрация многофазных систем: Материалы X Всесоюзн. семинара. Новосибирск, 1991. С. 91–95.
18. *Житников Ю.В., Зецер Ю.М.* Численное исследование нагрева конденсированных сред при объемных источниках энерговыделения // Прикладная механика и техническая физика. 1992. № 3. С. 22–28.
19. *Фатыхов М.А.* Дегазация углеводородной жидкости в высокочастотном электромагнитном поле // X111-Школа-семинар по проблемам трубопроводного транспорта: Тезисы докладов. Уфа, 1990. С. 38.
20. *Фатыхов М.А.* Физико-химические эффекты при электроволновом воздействии на высоковязкую нефть в трубопроводе // X11-Школа-семинар по проблемам трубопроводного транспорта: Тезисы докладов. Уфа, 1990. С. 37.
21. *Фатыхов М.А., Саяхов Ф.Л.* Дегазация нефтей в высокочастотном электромагнитном поле // Сб. научных трудов: Межвуз. Научно-техническая программа: Нефтегазовые ресурсы М., 1995. С. 94–99.
22. *Диденко А.Н., Зверев Б.В.* СВЧ-энергетика. М., 2000.

Поступила 23.04.2002

Summary

The influence of high-frequency electromagnetic field in hydrocarbon fluid degasation and de-emulsion has been investigated. A principal diagram of an experimental installation is presented. Dependence of degasation upon the temperature of fluid heating has been shown.