

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕДОБЫЧЕ И НЕФТЯНОЙ ЭКОЛОГИИ



Л. А. Ковалева,
зав. кафедрой прикладной физики,
проф., д-р техн. наук

Башкирский государственный университет, г. Уфа



Р. З. Миннигалимов,
начальник департамента добычи нефти и газа,
канд. техн. наук

ОАО «Татойлгаз»



Р. Р. Зиннатуллин,
доцент кафедры прикладной физики,
канд. техн. наук

Башкирский государственный университет, г. Уфа

В последнее время в связи с вовлечением в разработку месторождений высоковязких нефтей и битумов, запасы которых значительно превышают запасы обычных нефтей, интенсивно обсуждается возможность использования различных физических методов воздействия на призабойную зону нефтеносного пласта с целью увеличения нефтеотдачи и интенсификации притока нефти к скважине. При этом предпочтение отдается тепловым методам воздействия.

На основании экспериментальных исследований показано, что основной эффект достигается при резонансном взаимодействии поля с веществом в области частот ориентационной поляризации молекул. Причем такой характер взаимодействия на микроуровне порождает изменение макроскопических свойств среды (реологических свойств высоковязких и парафинистых нефтей, агрегатного состояния природных битумов и т. д.). При воздействии ВЧ ЭМ поля продуктивная порода рассматривается как некий немагнитный слабоэлектропроводный диэлектрик с потерями, основные электрофизические свойства которого выражаются двумя параметрами — диэлектрической проницаемостью ϵ' и тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$, причем максимальные затраты энергии приходятся на ту частоту поля, которая совпадает с собственной частотой колебания дипольных молекул. При этом зависимость, в частности $\text{tg}\delta$ от частоты поля, имеет вид резонансной кривой для нефти и других углеводородов в диапазоне

Одним из вышеупомянутых методов является метод, основанный на использовании энергии высокочастотного (ВЧ) электромагнитного (ЭМ) поля. Отличительная особенность ВЧ ЭМ воздействия от других тепловых методов — возникновение в толще залежи объемных источников тепла. Вследствие диэлектрических потерь в среде энергия электромагнитных волн преобразуется в тепловую энергию, в результате происходят повышение температуры, уменьшение вязкости жидкости в

пласте, более интенсивно протекают процессы тепло- и массопереноса. В случае ВЧ электромагнитного воздействия в продуктивный пласт может быть введена энергия очень высокой плотности, недоступимой никакими другими методами. Зона воздействия ВЧ ЭМ поля на продуктивный пласт и, следовательно, на протекающие в нем физико-химические процессы определяется глубиной проникновения ВЧ ЭМ волны и теоретически может составить до нескольких десятков метров.

частот порядка мегагерц. Этим объясняется использование ВЧ ЭМ поля для интенсивного прогрева призабойной зоны пласта.

Однако не менее важным является не только прямое (тепловое) действие поля, но и его «скрытое» воздействие на среды: возникновение термоупругих механических напряжений, интенсификация химических и диффузионных процессов в многокомпонентных системах, изменение поверхностных натяжений в многофазных средах и др.

Помимо прогрева призабойной зоны пласта, эффект резонансного взаимодействия электромагнитных полей с углеводородными средами может быть использован при очистке нефтешламовых амбаров и обезвоживании высоковязких водонефтяных эмульсий, что также является не менее актуальной проблемой. В условиях сложившейся в мире экономической ситуации реализация технологии очистки нефтешламовых амбаров с использованием электромагнитной энергии высокой частоты является в ближайшей перспективе наиболее реальной.

Нефтяные шламы, накапливаемые в амбарах, представляют собой сложную смесь окисленных углеводородов (смола, асфальтенов, парафина), песка, растительного слоя земли, воды, солей, различных химических реагентов, использованных в процессе добычи, сбора и под-

готовки товарной нефти*.

В процессе обследования нефтешламовых амбаров выявлены следующие слои: верхний, состоящий из нефтяной эмульсии с содержанием нефтепродуктов 81–98 %; слой воды, содержащий до 65 % нефтепродуктов; донный слой, содержащий до 65 % нефтепродуктов. Таким образом, при очистке нефтешламовых амбаров основной задачей является обезвоживание стойких водонефтяных эмульсий, представляющих основную часть амбара.

Технологический эффект при воздействии ВЧ ЭМ поля достигается за счет реализации следующих физических механизмов:

- ♦ возникновения в рабочей среде распределенных источников тепла в результате их взаимодействия с ВЧ ЭМ полем;
- ♦ деформации, колебания и разрыва межфазной пленки под воздействием мощного ВЧ ЭМ поля;
- ♦ неравномерного нагрева составляющих неоднородного материала и возникновения в нем термоупругих напряжений;

- ♦ повышения температуры, снижения поверхностного натяжения, возникновения на межфазной границе достаточно сильных градиентов температур и термоупругих напряжений;
- ♦ повышения давления и «выдавливания» из достаточно крупных пористых твердых

частиц насыщающего флюида;

♦ перемещения веществ с большей диэлектрической проницаемостью в область больших градиентов поля, а веществ с меньшей диэлектрической проницаемостью – в область малых градиентов поля, что способствует разделению смеси с разными диэлектрическими характеристиками ($\epsilon'_{\text{воды}} = 81$, $\epsilon'_{\text{нефти}} \approx 3$, $\epsilon'_{\text{мех.пр}} \approx 2$) в неоднородном электрическом поле на составляющие.

Результаты экспериментальных исследований

Высокая агрегативная устойчивость и вязкость амбарных эмульсий обусловлены повышенным содержанием асфальтенов, смол, парафинов, механических примесей и воды. В результате проведенных экспериментальных и теоретических исследований установлено, что при воздействии электромагнитного поля с оптимальным подбором всех его параметров (напряженности и частоты поля, времени воздействия) происходят интенсивное разделение фаз, резкое снижение вязкости, рост теплопроводности и, как следствие, интенсивный объемный прогрев и увеличение текучести флюида, во много раз превосходящие такие способы воздействия, как электро- или индукционный нагрев (рис.1).

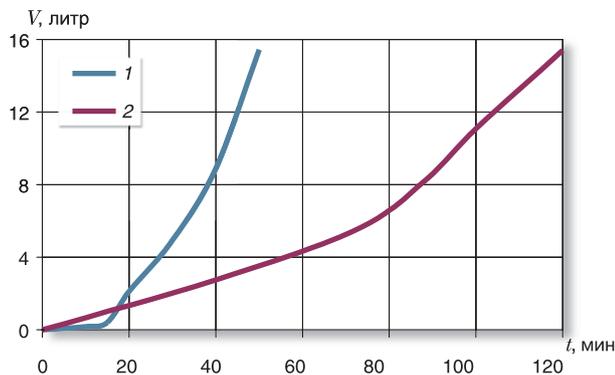


Рис. 1. Изменение объема нефтешлама, нагретого до 90 °С, во времени при различных способах воздействия: 1 – электромагнитное воздействие; 2 – индукционный нагрев

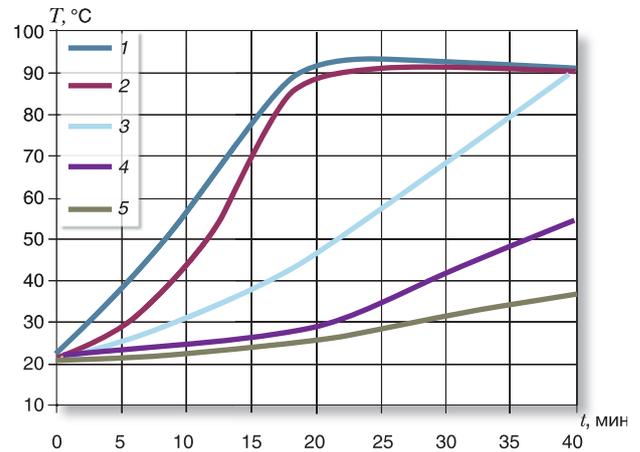


Рис. 2. Изменение температуры нефтешлама в резервуаре во времени при ВЧ ЭМ воздействии на расстоянии от центра: 1, 2, 3, 4, 5 – 20, 40, 60, 80 и 105 мм соответственно

* Анализ состава и физико-химических свойств нефтяных шламов применительно к практическому методу обезвоживания / З. А. Лапаева [и др.] // Башкирский химический журнал. 1994. № 4. С. 56–57; Миннигалимов Р. З., Баймухаматов Д. С. Оптимизация технологии переработки нефтяных шламов / Тр. БашНИПИнефти. Уфа, 1998. С. 45–47.

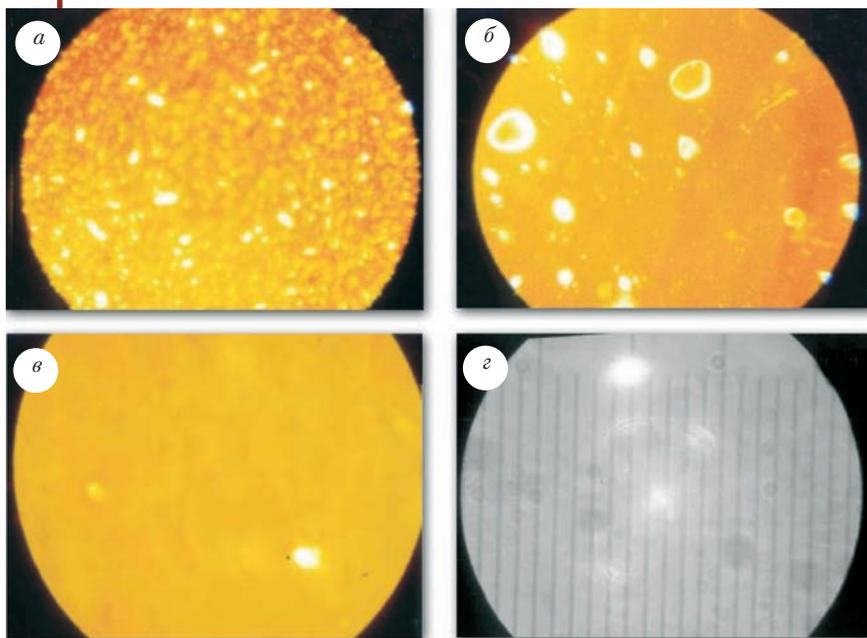


Рис. 3. Фотографии микроструктуры нефтяного шлама:
 а – до обработки ВЧ ЭМ полем; б – после обработки ВЧ ЭМ полем; в – после обработки ВЧ ЭМ полем и 30-минутного отстаивания; г – шкала объекта микрометр (цена деления 10 мкм, ширина экрана 0,22 мм)

В отличие от теплового или индукционного нагрева, который происходит только за счет теплопроводности и конвекции, при ВЧ ЭМ воздействии наблюдается объемный нагрев нефтешлама. Это наглядно представлено на рис. 2: температура начинает увеличиваться сразу во всем объеме.

Кроме этого, при резонансном взаимодействии поля со средой происходит интенсивное разрушение структуры бронирующих оболочек воды, обеспечивающих высокую стойкость шлама. На рис. 3 приведены фотографии нефтяного шлама до и после воздействия ВЧ ЭМ поля.

Из фотографии видно, что нефтешлам имеет дисперсное строение и состоит из глобул воды и мелких механических примесей (почвы, глины). Сразу же после воздействия ВЧ ЭМ поля (см. рис. 3, б) наблюдается укрупнение дисперсных составляющих водяной фракции. После 30-минутного отстаивания нефтяного шлама (см. рис. 3, в) имеет место почти полное исчезновение дисперсности нефтешлама, что свидетельствует о его полном расслоении.

С целью оценки эффективности разрушения водонефтяных эмульсий

при воздействии ВЧ ЭМ поля проводились исследования традиционных методов воздействия на образец эмульсии (рис. 4).

Из рисунка следует, что процесс отслоения воды идет наиболее интенсивно при воздействии на эмульсию ВЧ электромагнитным полем (кривая 1). В СВЧ электромагнитном поле частотой 2,4 ГГц на молекулы асфальтенов и смол, которые составляют основу бронирующей оболочки водонефтяной эмульсии, не оказывается резонансного воздействия, так как область дисперсии диэлектрических параметров для этих молекул находится в ВЧ диапазоне. Поэтому наблюдаемое отслоение воды при СВЧ ЭМ воздействии происходит преимущественно за счет теплового воздействия, что подтверждается близостью кривых 4 и 5. Химическое воздействие осуществлялось до-

бавлением в эмульсию деэмульгатора «Геркулес 1017» при температуре 24 °С (кривая 3), а при теплехимическом воздействии (кривая 2) отстойник со смесью помещался в термобаню с температурой 75 °С.

Эффективность разрушения эмульсии зависит от частоты приложенного поля. Для каждой эмульсии должна подбираться индивидуальная частота воздействия в зависимости от диэлектрических параметров эмульсии. Однако генераторы, выпускаемые промышленностью, имеют фиксированную частоту генерирования. Наиболее приемлемыми являются генераторы, рабочая частота которых находится в диапазоне 1–100 МГц, так как именно в этой области диэлектрические параметры большинства эмульсий испытывают дисперсию.

Технические основы технологии

На основе проведенных исследований разработана принципиальная схема комплекса для очистки нефтешламовых амбаров (рис. 5). Основными узлами комплекса являются следующие.

Узел предварительного подогрева и подачи нефтешлама из амбара. В качестве тепловой энергии для снижения вязкости и обеспечения гидродинамической подвижности в течение летнего солнечного дня используется солнечная энергия (на 1 м² поступает около 20 МДж тепла). Для сол-

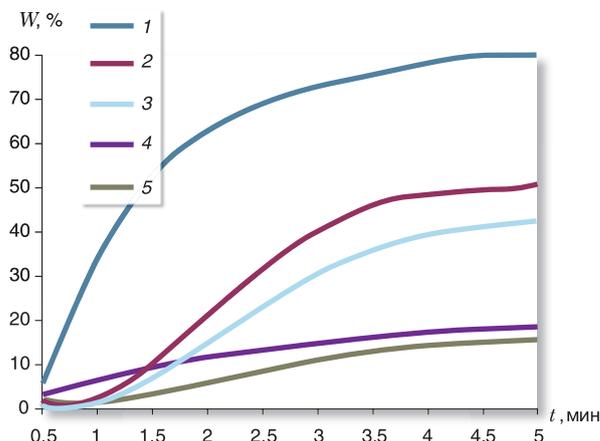


Рис. 4. Динамика отслоения воды при различных видах воздействия:
 1 – ВЧ электромагнитное; 2 – теплехимическое; 3 – химическое; 4 – СВЧ электромагнитное; 5 – тепловое

нечного нагрева предусмотрены специальные пленочные покрытия на понтонах (теплицы).

Узел обработки шлама высокочастотным электромагнитным полем. В узел обработки входят высокочастотная установка и технологическое устройство. Высокочастотная установка представляет собой вагон-будку, в который вмонтирован высокочастотный генератор с системой охлаждения. К высокочастотной установке при помощи мощного радиочастотного кабеля (коаксиального фидера) присоединяется технологическое устройство, представляющее собой высокочастотный четверть-волновый резонатор.

Узел отстоя обработанной продукции. Должен вмещать продукцию одного цикла обработки, для обеспечения возможности использования технологии в зимний период предполагается его оснащение терморубашкой для дополнительного подогрева.

Для воздействия на продукцию амбара мощным ВЧ ЭМ полем разжиженная масса продукции амбара через фильтр (для крупных механических примесей) перекачивается насосом, расположенным на понтоне, в ВЧ технологическое устройство. Технологическое устройство, в котором осуществляется обработка разогретой продукции пруда ВЧ ЭМ полем, представляет собой в электротехническом отношении резонатор, который соединяется с ВЧ генератором с помощью коаксиального фидера (пат. РФ 2213863).

Линейные размеры устройства и частота воздействующего ЭМ поля определяются экспериментальным измерением диапазона изменения диэлектрической проницаемости и резонансной частоты поглощения продукции нефтешламового амбара. По этим размерам изготавливается устройство для переработки нефтяных шламов.

При наличии автономного источника электропитания данная установка представляет собой передвижную систему, которую можно доставить к объекту автомобильным или железнодорожным транспортом. Для реализации предлагаемой техно-

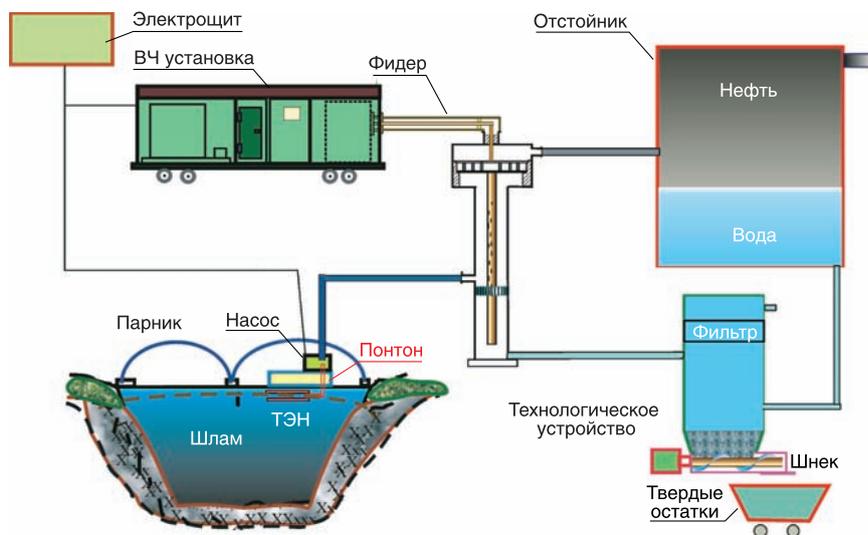


Рис. 5. Принципиальная схема комплекса для утилизации нефтяных шламов

логии предполагается использовать выпускаемую отечественной промышленностью ВЧ установку и мощный радиочастотный кабель. Остальные узлы, элементы и детали устройства могут быть изготовлены практически на любом заводе или даже в мастерских. Основной материал – трубы соответствующих размеров, основной вид работы – сварка.

Выводы

1. Многочисленные результаты экспериментальных исследований, а также ряд опытно-промышленных испытаний ВЧ ЭМ воздействия на среды нефтяной технологии позволяют считать этот метод весьма перспективным для добычи нефти и утилизации продукции нефтешламовых амбаров. Последнее направление в современных условиях можно считать наиболее реализуемым.

2. Предлагаемая технология основана на физико-химических явлениях, возникающих в рабочей среде (продукты нефтешламовых амбаров) при воздействии на нее мощного ВЧ ЭМ поля. Оптимальные параметры воздействия подбираются для каждого объекта индивидуально, по результатам лабораторных исследований.

3. Заказчиками и потребителями предлагаемой технологии могут быть нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия, а также уп-

равления трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов.

4. Данную технологию можно легко комбинировать с другими методами переработки нефтешлама, включая ее в соответствующие технологические цепочки. Установка может быть использована и при авариях на трубопроводах для очистки нефтезагрязненных почвенно-водных сред, так как представляет собой передвижную систему, которую можно экстренно доставить автомобильным или железнодорожным транспортом в район аварии. ■

Electromagnetic technologies in oil production and oil ecology

L. A. Kovaleva, R. Z. Minnigalimov, R. R. Zinnatullin

The authors prove the feasibility of thermal methods of oil-bed bottom-hole zone treatment for the enhancement of oil recovery and intensification of oil influx. The article describes a method, which is based on the application of high-frequency electromagnetic field energy. The method can be used for mud pit cleaning and dewatering of high-viscosity water-oil emulsions. The authors present a flowsheet for the implementation of this method.

Key words: heavy crude oil, oil bed, thermal effect, high-frequency electromagnetic field, enhancement of oil recovery, sludge pits, cleaning, process equipment.