

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СИСТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Дальнейшее развитие нефтяной и газовой промышленности требует привлечения широкого комплекса физических и физико-химических методов воздействия в различных технологических процессах. Основные физические методы воздействия связаны с применением электромагнитных, электрических, ультразвуковых и барометрических полей.

Многообразны примеры эффективного применения электромагнитных полей в различных отраслях промышленности. Надо заметить, что в настоящее время при наличии некоторых гипотез нет универсальной теоретической модели, удовлетворительно обобщающей накопившийся огромный экспериментальный материал по магнитной обработке диамагнитных диэлектрических жидкостей. Причина – чрезвычайная сложность процесса магнитной обработки, в частности, неустойчивость, противоречивость экспериментальных результатов, неконтролируемость многих определяющих факторов. Эффективность магнитной обработки, например, воды в определенной степени зависит даже от солнечной активности. По теории Чижевского многие земные процессы физического, гидродинамического и биологического характера заметно коррелируются с активностью магнитных бурь Солнца.

Имеются примеры успешного применения магнитного воздействия и в добыче нефти. Установлено, что воздействие электромагнитного поля способствует существенному уменьшению парафиновых отложений. С успехом применяются магнитные вставки для предотвращения солеотложения в эксплуатационных трубах. Появилась возможность использования пластовых вод для технических нужд после магнитной обработки. В последнее время установлено, что воздействие соответствующих электромагнитных полей может привести к существенному уменьшению гидравлического сопротивления при течении асфальтено-смолистых нефтей.

Имеются теоретические и экспериментальные предпосылки возможности повышения сепарационной способности газоконденсатных систем под воздействием различных электромагнитных полей. Такая возможность открыла бы каче-

ственно новую перспективу повышения эффективности, рентабельности газосепарационных установок, так как магнитные установки недорогостоящие, не требуют сколько-нибудь значительных затрат энергии и просты в практическом обслуживании. Проведенный экономический расчет показал, что даже 1%-ное повышение выхода конденсата полностью оправдывает затраты на магнитную обработку.

9.1. НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВЛИЯНИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫЕ СИСТЕМЫ

Магнитные и электрические свойства углеводородных систем. Известно, что вещества делятся на диа-, пара- и ферромагнетики. К диамагнетикам относятся все вещества, у которых атомы при отсутствии внешнего магнитного поля не имеют магнитного момента. При внесении же в магнитное поле возникает Ларморова процессия электронных оболочек атомов, благодаря чему диамагнитный атом приобретает некоторый магнитный момент.

Нефть, природный газ, конденсат и все нефтепродукты относятся к диамагнетикам, т.е. содержат компоненты в основном с отрицательной магнитной восприимчивостью \uparrow . Значения магнитной восприимчивости для некоторых парафиновых углеводородов приведены ниже.

Углеводород C_nH_{2n+2}	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	$i-C_4H_{10}$	$n-C_4H_{10}$	$i-C_5H_{12}$
Магнитная восприимчивость $\uparrow \cdot 10^6$	12,2	27,3	40,5	56,3	57,4	64,4
Углеводород C_nH_{2n+2}	$n-C_5H_{12}$	C_6H_{14}	C_7H_{16}	C_8H_{18}	$C_{10}H_{20}$	
Магнитная восприимчивость $\uparrow \cdot 10^6$	82	74,05	85,24	96,47	108,13	

Нефть, конденсат, природный газ — явные диэлектрики и практически неэлектропроводны. Значение относительной диэлектрической проницаемости ϵ нефтепродуктов колеблется около 2, а для компонентов природного газа $\epsilon \approx 1$. Удельная электропроводность светлых нефтепродуктов обычно находится в пределах от 10^{-15} до 10^{-13} См·см⁻¹, нефть же имеет электропроводность 10^{-11} – 10^{-9} См·см⁻¹.

Различают два класса диэлектриков: 1) диэлектрики, молекулы которых не обладают дипольным моментом при отсутствии внешнего электрического поля; 2) диэлектрики, молекулы которых в отсутствие внешнего поля имеют определенный дипольный момент (полярные диэлектрики).

Нефть, а также различные нефтегазоконденсатные системы относятся к первому классу диэлектриков. Представителем второго класса является, в частности, вода (обычно содержащаяся в реальных газоконденсатных потоках), обладающая большой диэлектрической постоянной ($\epsilon \approx 80$).

Некоторые особенности ионно-электростатической структуры газоконденсатной системы. Компоненты нефтегазоконденсатных систем практически неэлектропроводны и немагнитоактивны, поэтому воздействие магнитного поля не приводит к каким-либо макроскопическим изменениям в состоянии гомогенных углеводородных систем. Картина качественно изменяется, если рассматривать влияние магнитного поля, например, на гетерогенную систему газоконденсатного потока, содержащего также нефть, воду, механические примеси и др. При этом воздействие магнитного поля может привести к существенным ло-

кальным изменениям и соответствующим макроскопическим эффектам, так как система при локальном подходе перестает быть электромагнитонейтральной.

Известно следующее правило Кена: «Два вещества с различной диэлектрической проницаемостью, находящиеся в контакте, заряжаются; вещество с более высокой диэлектрической проницаемостью заряжается положительно, а другое — отрицательно». Это означает, что на границе раздела между этими веществами имеется двойной электрический слой, существование которого — установленный факт.

Распределение зарядов в двойном электрическом слое носит сложный характер, и существуют различные модельные представления о его строении (модели Гельмгольца, Гуи — Чапмена, Штерна). Особенностью теории Гуи — Чапмена по сравнению с теорией Гельмгольца является то, что слой противоионов предполагается не плоским, а размытым, где концентрация зарядов плавно уменьшается с увеличением расстояния от границы раздела. С наличием двойного электрического слоя связано возникновение таких электрокинетических явлений, как электроосмос, электрофорез и потенциал протекания.

На основании изложенного гетерогенную газоконденсатную систему можно представить как сложную композицию множества локальных ионно-электростатических полей, распределенных по объему газа. При этом двойные электрические слои могут образовываться на границах конденсат — газ, нефть — газ, вода — газ, твердая частица — газ и т.д.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ СЕПАРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Для усиления сепарационных свойств газоконденсатных систем с помощью магнитных полей имеются следующие качественные предпосылки.

1. Рассматривая значения магнитной восприимчивости для некоторых парафиновых углеводородов, можно видеть, что они существенно возрастают с «утяжелением» компонентов. Неодинаковые значения магнитной восприимчивости компонентов газоконденсатной системы определяют их различную «реакцию» на наличие внешнего магнитного поля. Это является одним из априорных факторов, определяющих сепарационное воздействие магнитных полей. Другой важный фактор — различие в диэлектрических способностях компонентов. Наличие в потоке высокополярного вещества — воды обуславливает «приоритетное» воздействие электромагнитного поля на водные частицы, усиливая их роль как центров конденсации.

2. Если какая-либо твердая частица взвешена в жидкости, то на ее поверхности возникает двойной электрический слой. При этом внешнее электрическое поле будет смещать наружную часть двойного слоя к одному электроду, а частицу — к противоположному электроду. Это имеет место не только для твердых частиц, но и для небольших пузырей газа в жидкости. Описанный процесс разделения называется электрофорезом.

Аналогичный процесс может произойти и при использовании магнитного поля. Исходя из определения силы Лоренца ясно, что магнитная сила окажет воздействие в противоположных направлениях на разноименно заряженные «ионные облака» двойного электрического поля. Если взять частицу конденсата в газе, то сила Лоренца, действуя на две фазы в разных направлениях, видимо, будет как бы стягивать газовую оболочку с частицы.

Подобное локальное воздействие на каждую электростатическую ячейку

может привести к макроскопическому нарушению устойчивости системы газ – конденсат, содействуя последующей сепарации.

3. В определенных магнитных полях заряженные частицы могут двигаться по окружности, дрейфовать, ускорять или замедлять свое движение. Следовательно, заряженные оболочки двойного электрического слоя, видимо, также могут изменять свою траекторию, ускоряться (замедляться) при наложении соответствующего магнитного поля. Подобное действие магнитного поля может привести к дополнительным локальным возмущениям, увеличению вероятности соударения конденсатных частиц и соответствующему увеличению их коалесценции.

При этом если учитывать только силовое воздействие магнитного поля, то становится очевидным преимущество переменных и неоднородных полей. Кроме того, надо учитывать и то, что переменное магнитное поле обуславливает появление вихревого электрического поля.

Рассмотренные качественные факторы, разумеется, не полностью характеризуют особенности такого сложного процесса, как воздействие магнитного поля на гетерогенную диамагнитную жидкость. При этом наложение магнитного поля, видимо, может привести также к некоторым структурным, физико-химическим и другим изменениям.

Один из возможных механизмов влияния магнитного поля на водные системы заключается в следующем. Природная или питьевая вода и даже дистиллят содержат различные примеси – твердые взвеси, мельчайшие газовые пузырьки, ионы и т.п. В 1 см³ питьевой воды, например, содержится $2 \cdot 10^5$ частиц примесей размером 10^{-6} – 10^{-5} см. В 1 см³ дистиллята число частиц примесей лишь на порядок меньше. Если учесть, что размер молекул воды имеет порядок 10^{-8} см, и принять, что эти молекулы взаимодействуют только с поверхностью примесей, то, по оценкам М.И. Давидзона, в случае монослойного контакта число молекул в агрегате составит 10^4 – 10^6 . В объеме одной частицы примеси могут разместиться 10^6 – 10^9 молекул. Таким образом, примесно-молекулярные образования представляют собой гигантские агрегаты молекул, превышающие в 10^{10} – 10^{15} раз размеры молекул воды.

Число таких образований велико, так что можно пользоваться представлениями о водной системе как сплошной среде.

Пространственное расположение образования хаотично, однако жидкость в целом электронейтральна, несмотря на наличие в ней диполей и зарядов различной природы.

При малой магнитной восприимчивости слабопроводящие водные системы обладают аномально высокой среди жидкостей электрической восприимчивостью. В движущихся в магнитном поле слабопроводящих водных системах возникает электрическое поле, приводящее к активации жидкостей, ориентации примесно-молекулярных дипольных образований и отдельных молекул воды. Для образования поля и ориентации образований требуется некоторое время – период магнитной обработки.

В процессе движения в градиентном гидродинамическом поле и ориентации в электрическом поле часть примесно-молекулярных образований разрушается и образуются новые. Все образования выстроиться по полю не могут. Этому мешают силы кулоновского взаимодействия между диполями, которые приводят к смещению примесно-молекулярных образований относительно друг друга. Образуются «рыхлые» структуры, более способные к взаимодействию, т.е. водные системы становятся активированными. Повышение активности происходит благодаря измельчению и ориентации примесно-молекулярных образо-

ваний. Наличие в слабопроводящих водных системах до и после пребывания в поле примесно-молекулярных образований различных размеров с неизбежностью приводит к существованию времени релаксации. В самом деле, по выходе из поля отдельные диполи воды и мелкие образования быстро теряют свою ориентацию благодаря тепловому движению молекул жидкости. Более крупные образования для дезориентации и разрушения требуют больше времени. Отсюда и существование времени релаксации (памяти). Так как существуют примесно-молекулярные образования, размеры которых в 10^{10} – 10^{15} раз превышают размеры молекул воды, то и время релаксации соответственно должно быть больше, чем у молекул воды.

Другой механизм влияния магнитного поля на воду может быть связан с наличием в воде бактерий. Совершенно чистая вода превращается в лед только при температуре ниже -40 °С. Если мы считаем, что вода замерзает около 0 °С, то это лишь потому, что абсолютно чистой воды в природе не бывает. В ней всегда присутствуют частицы, которые могут послужить центрами кристаллизации. До недавних пор считалось, что это, прежде всего, минеральные частицы, неорганическая пыль. Но и они вызывают замерзание воды лишь при температуре, близкой к -10 °С. Было обнаружено, что гораздо более действенными центрами кристаллизации, определяющими замерзание воды при температуре около 0 °С, могут быть некоторые бактерии.

Магнитное поле уничтожает часть бактерий, что приводит к понижению температуры замерзания воды. В северных условиях этот эффект можно использовать как для борьбы с гидратообразованием, так и для улучшения условий работы водоводов.

Изложим результаты экспериментальных исследований потенциалов фильтрации в модельных углеводородных жидкостях. Величина потенциалов фильтрации в электролитах определяется известной зависимостью Гельмгольца – Кройта:

$$\vec{E} = \frac{4\varepsilon\varepsilon_0\xi}{\pi\sigma r_k} \vec{v}, \text{ где } \vec{E} - \text{ потенциал фильтрации, В/м; } \varepsilon_0 - \text{ абсолютная}$$

диэлектрическая проницаемость, равная $8,88 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ε – относительная диэлектрическая проницаемость; ξ – электрокинетический потенциал, В; σ – удельная электропроводность, См/м; r_k – радиус пор, м; \vec{v} – скорость фильтрации, м/с.

Величина потенциала фильтрации определяется природой двойных электрических слоев и, следовательно, физико-химическими свойствами фильтрующегося электролита и поверхности скелета пласта. Кроме того, она зависит от внешних физических полей, в частности, от переменного магнитного поля, направленного перпендикулярно к направлению фильтрации.

Авторы исследовали возникновение потенциалов фильтрации в модельных углеводородных системах и возможность их изменения в переменном магнитном поле. В качестве модельных углеводородных жидкостей использовали смеси нефтей Усинского и Арланского месторождений в неполярном керосине.

Поскольку в зависимости Гельмгольца – Кройта содержание полярных компонентов в жидкости может проявляться только через диэлектрическую проницаемость, исследовалась зависимость последней от содержания полярных компонентов на установке, состоящей из куметра ВМ-311, ультратермостата НВЕ, измерительного конденсатора с рубашкой охлаждения и контрольного термометра. Погрешность измерений не превышала 5 %. Методика измерения диэлектрической проницаемости заключалась в следующем. Керосин и исследуемые нефти предварительно очищали от механических примесей и обезвожи-

вали. Постоянство температуры в процессе измерения контролировали термометром, размещенным на ультратермостате. Исследуемую жидкость помещали в измерительный конденсатор, который подключали к куметру параллельно настроенному конденсатору. Процесс измерения заключался в том, что до и после включения измерительного конденсатора изменяли емкость настроечного конденсатора, добиваясь максимального отклонения стрелки куметра.

Диэлектрическую проницаемость исследуемых жидкостей определяли по формуле $\epsilon = (C - C_n)/C_0$, где C – емкость конденсатора, заполненного исследуемой жидкостью; C_n – паразитная емкость монтажных проводов; C_0 – емкость пустого конденсатора.

Для определения C_0 и C_n конденсатор предварительно калибровали по эталонным жидкостям – толуолу и четыреххлористому углероду. Полученные значения диэлектрической проницаемости, усредненные в диапазоне частот 0,052–13,56 МГц, в зависимости от суммарного содержания полярных компонентов показали, что с увеличением содержания полярных компонентов происходит почти линейное увеличение диэлектрической проницаемости.

Следующим этапом исследований явилось изучение потенциалов фильтрации углеводородных жидкостей. Исследования проводили на установке, основным элементом которой служит измерительная ячейка, в которой находятся образцы естественных кернов в виде цилиндров диаметром 3 см и длиной 4 см. Для измерений потенциалов использовали хлор-серебряные электроды диаметром 2 мм, помещенные в измерительную ячейку.

В процессе фильтрации создавались перепады давления в жидкости и наружное давление на керн. Потенциал регистрировали высокоомным потенциометром, а в качестве индикатора нуля использовали микроамперметр.

Исследования проводили на экстрагированных образцах керна Арланского месторождения с проницаемостью 0,15 мкм² (по воздуху) и пористостью 25,3 %. Методика измерения потенциалов фильтрации заключалась в следующем. Перед проведением экспериментов образец насыщали исследуемой жидкостью и при атмосферном давлении определяли потенциал асимметрии, который в опытах был равен 3 мВ. Предварительными исследованиями была показана практическая независимость потенциала фильтрации от нагрева ячейки на 3–4 °С, вызванного длительной работой электромагнита. Эксперименты проводили на модельных углеводородных жидкостях при различных скоростях фильтрации. При этом перепады давления составляли от 3,5 до 4,5 МПа. В процессе эксперимента замеряли количество отфильтровавшейся жидкости, а время фильтрации фиксировали секундомером. Каждый эксперимент повторяли 3 раза. Полученные результаты сравнивали с теоретической зависимостью, рассчитанной по приведенной формуле при $\xi = 0,3В$. Хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных свидетельствует о справедливости зависимости Гельмгольца – Кройта для принятых условий фильтрации полярных углеводородных жидкостей.

Для изучения влияния переменного магнитного поля на потенциалы фильтрации в описанных исследуемых средах ячейка установки помещалась в круговой соленоид таким образом, чтобы направление магнитного поля было перпендикулярно к направлению движения жидкости. Индукция магнитного поля составляла 0,3 Тл. Измерительная ячейка с электромагнитом устанавливалась на изоляторах внутри заземленной «клетки Фарадея», представляющей собой металлический экран, выполненный из медного листа и установленный на фторопластовых изоляторах.

Методика эксперимента заключалась в следующем. После измерения потенциалов фильтрации, не изменяя режима течения жидкости, включали электромагнит и следили за изменением потенциала фильтрации в переменном магнитном поле. Замеряли количество отфильтрованной жидкости в магнитном поле. Затем электромагнит выключали, и если фильтрация продолжалась, то потенциал фильтрации мгновенно восстанавливался до первоначального значения. Включение переменного магнитного поля приводило к практически мгновенному снижению потенциала фильтрации более чем в 10 раз, что можно объяснить только многократным уменьшением электрокинетического потенциала.

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований по изучению электростатических особенностей потоков при различных режимах течения жидкостей в трубах, изменения степени их электризации при наложении электромагнитных полей и введении различных и полимерных добавок.

Замеры возникающих при движении жидкости электропотенциалов проводили как между двумя электродами, так и относительно земли. Расход жидкости измеряли объемным методом. В качестве рабочей жидкости использовали пресную воду, газированную воду, насыщенную CO_2 при различных давлениях, водонефтяные эмульсии с разными содержаниями нефти и воды, полимерные жидкости различных концентраций, воду, обработанную магнитным полем.

Для пресной воды, газированной воды и воды, обработанной магнитным полем с увеличением числа Рейнольдса (Re) в ламинарном режиме течения разность потенциалов $\Delta\varphi$ увеличивается. При изменении режима течения в зависимости $\Delta\varphi = \Delta\varphi(Re)$ наблюдается экстремальный переход. Характерно то, что при турбулентном режиме с увеличением расхода жидкости $\Delta\varphi$ постепенно снижается. Характер изменения $\Delta\varphi$ при изменении Re сохраняется для всех применяемых в экспериментах рабочих жидкостей — увеличение в ламинарной области течения, затем экстремальный переход и снижение в турбулентной зоне. Растворение углекислого газа в жидкости приводит к значительному снижению электрокинетического потенциала.

С целью устранения влияния случайных внешних возмущений, а также наводимых другими источниками электромагнитных полей осуществлялась электроизоляция с последующим экранированием экспериментальной установки. Сопоставление полученных результатов показало, что наличие экрана в определенной степени сглаживает случайные флуктуации электрокинетического потенциала и не влияет на характер изменения кривых $\Delta\varphi = \Delta\varphi(Re)$.

Проведенные исследования с водонефтяными эмульсиями показывают, что степень электризации зависит от содержания воды и нефти в эмульсии. Используемые в экспериментах эмульсии состояли в основном из легкой сураханской нефти, воды, а также из неионогенного ПАВ ОП-10 (0,01 % от общего объема смеси).

К особенностям полученных для водонефтяных эмульсий кривых относится то, что постепенное изменение электрокинетического потенциала начинает проявляться задолго до переходной точки. Такое изменение качественно согласуется с явлениями предпереходных процессов, описанных теорией гетерофазных флуктуаций Я.И. Френкеля.

Исследование электризации водополимерных растворов на примере полиакриламида (ПАА) показало, что в области малых концентраций ПАА степень электризации снижается на 35–40 %, после чего дальнейшее увеличение концентрации ПАА приводит к значительному увеличению $\Delta\varphi$.

Были проведены эксперименты по изучению влияния электрических и магнитных полей на степень электризации рассматриваемых систем. Установ-

лено, что электростатическая обработка жидкости приводит к многократному увеличению $\Delta\varphi$. При изучении воздействия переменного магнитного поля электромагнит устанавливался на начальном участке трубы. Поток жидкости обрабатывался поперечным полем с индукцией 0,1 Тл. При этом в отличие от электростатической обработки происходит значительное снижение $\Delta\varphi$. Этот результат качественно согласуется с ранее приведенным выводом о значительном снижении потенциала фильтрации жидкости при воздействии магнитного поля.

При обработке газожидкостных смесей магнитным полем происходит увеличение давления начала выделения газа из газированных жидкостей. Для оценки влияния магнитного поля на приращение давления начала выделения газа из газированной жидкости были проведены опыты для смеси трансформаторного масла с метаном при различных значениях напряженности магнитного поля. Для магнитного поля с индукцией 0,041 Тл приращение давления насыщения составило 3,5 МПа, а с 0,08 Тл – соответственно 4,9 МПа.

Следовательно, обработка газожидкостных систем в магнитном поле с индукцией 0,04–0,08 Тл приводит к увеличению давления начала выделения газа из жидкости.

Были проведены исследования с целью качественной оценки влияния переменного магнитного поля на реологические свойства неньютоновских нефтей. Рассмотрены асфальтено-смолистые нефти, для которых были сняты кривые течения при наличии поля и при его отсутствии.

Экспериментальная установка состояла в основном из капиллярного вискозиметра и электромагнита. В опытах использованы немагнитные (медные) капиллярные трубки длиной 20, 30, 50 см и диаметром соответственно 2,3 и 2,5 мм. Высота полюсов равнялась 35 мм, а зазор между ними устанавливался соответственно наружному диаметру капиллярных трубок. Электромагнит подключался к городской сети с частотой 50 Гц, и полюсы ставились в начальном участке капиллярной трубки.

Были рассмотрены нефти месторождения Кюровдаг (30 % асфальтено-смолистых веществ) и мангышлакская (40 %). Установлено, что под действием переменного магнитного поля происходит очевидный сдвиг кривых течения, и предельное напряжение сдвига при этом существенно уменьшается. Уменьшение предельного напряжения сдвига особенно заметно после двух- и трехкратной обработки нефти магнитным полем.

Заметим, что нефть и после снятия поля течет, сохраняя «магнитную память», для оценки которой после 6 сут при той же температуре были сняты кривые течения. При этом изменения в нефти после воздействия полем оказались достаточно устойчивыми во времени. Проведенный через 50 сут опыт с уже использованной нефтью показал, что нефть при этом частично сохранила «память» об обработке магнитным полем, вследствие чего сдвиг кривых от повторного воздействия полем происходит менее выражено и от кратности магнитной обработки практически не зависит.

Качественно аналогичные результаты получены в опытах с водонефтяными эмульсиями.

Рассмотрим некоторые аспекты механизма влияния омагниченной воды на коэффициент вытеснения. Лабораторные и промышленные исследования последних лет убедительно показали, что закачка воды, обработанной постоянным поперечным магнитным полем, приводит к увеличению приемистости нагнетательных и дебитов добывающих скважин. Оценка эффективности магнитного воздействия осуществлялась определением коэффициента вытеснения η углеводородных жидкостей из пористой среды омагниченной водой. Эксперименты

показали, что при вытеснении такой водой углеводородных жидкостей из кварцевого песка не наблюдается возрастания η , а при вытеснении из глинизированной пористой среды отмечалось изменение η , зависящее от содержания глины в пористой среде и напряженности магнитного поля. Напряженность магнитного поля обработки – очень важная величина, в зависимости от которой можно получить увеличение или уменьшение η при вытеснении.

Проведены исследования по выявлению механизма влияния омагниченной воды на η . С этой целью проведены лабораторные исследования вытеснения трансформаторного масла из пористой среды (смесь 30 % глины монтмориллонитовой группы или такой же глины, обожженной при 90 °С или обработанной водным раствором соляной кислоты, и 70 % кварцевого песка). Магнитную обработку воды осуществляли постоянным поперечным магнитным полем напряженностью 8,15 А/м. Результаты исследований приведены ниже (η , $\eta_{м.о}$ – соответственно коэффициенты вытеснения без и с магнитной обработкой):

Вещество.....	Глинистая смесь	Кварцевый песок	Обожженная глина	Глина, обработанная HCl
η	0,50	0,829	0,657	0,76
$\eta_{м.о}$	0,875	0,816	0,654	0,789

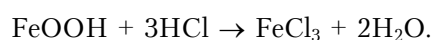
Исследования проводили в три этапа. На первом провели вытеснение трансформаторного масла из кварцевого песка и его смеси с глиной «необработанной» водой и водой, обработанной постоянным поперечным магнитным полем. Сопоставление η при вытеснении водой из глинистой смеси и кварцевого песка показывает, что в глинизированной пористой среде η уменьшилось на 33 %. При этом отмечалось интенсивное набухание глины в процессе отмыва. Было сделано предположение, что снижение η в глинистой смеси происходит за счет набухания глины.

На втором этапе исследования определяли вклад набухания глины в изменение η . Проведенные исследования показывают, что набухание глины значительно ухудшает фильтрационные свойства пористой среды. Поэтому можно регулировать степень набухания глины закачкой омагниченной воды. Дальнейшие исследования по регулированию свойств пористой среды омагниченной водой показали, что и в карбонатной пористой среде наблюдается увеличение η при вытеснении омагниченной водой. Как известно, карбонатные пористые среды не обладают свойствами набухания. Все это стимулировало исследование вклада набухания глины в изменение η . С этой целью были проведены опыты по вытеснению трансформаторного масла из пористой среды, состоящей из 70 % кварцевого песка и 30 % обожженной глины. Известно, что при обжиге глина теряет способность к набуханию. Сравнение значений η при вытеснении из среды, глинизированной обожженной и не обожженной глиной, показывает следующее: 1) в результате обжига происходит увеличение η на 16 % по сравнению с процессом вытеснения из смеси с необожженной глиной; 2) магнитная обработка воды не влияет на η при вытеснении из пористой среды, состоящей из обожженной глины и кварцевого песка. Следовательно, только регулированием набухания глины нельзя объяснить увеличение η при вытеснении трансформаторного масла из глинизированной пористой среды омагниченной водой. Это стимулировало третий этап исследований.

Анализ литературы показал, что на поверхности глинистых частиц существуют мельчайшие частицы соединений железа, обладающие магнитными свойствами. Было обращено внимание на то, что гётит имеет коэрцитивную силу H_c (напряженность магнитного поля, необходимая для полного размагничивания ферромагнетика), равную 8,8 А/м. Следует заметить, что максимальное увели-

чение η при вытеснении трансформаторного масла из глины наблюдалось при обработке воды постоянным поперечным магнитным полем напряженностью 8,15 А/м.

На третьем этапе исследования изучалось влияние пленок ферромагнетиков пористой среды на коэффициент вытеснения η . Предполагалось, что пленки ферромагнетиков на поверхности глинистых частиц удерживают углеводородные жидкости, снижая η при вытеснении водой. Обработка воды магнитным полем приводит к компенсации магнитного поля ферромагнетика и увеличению η . Для проверки этой гипотезы были проведены следующие исследования. При обработке глины водным раствором HCl гётит превращается в треххлористое железо, которое не обладает магнитными свойствами. Реакция идет по следующей схеме:



Затем проводили вытеснение водой и омагниченной водой (напряженность поля 8,15 А/м) трансформаторного масла из глинизированной пористой среды, обработанной водным раствором HCl. При вытеснении в указанных условиях получены высокие значения η , находящиеся в области значений, полученных при вытеснении из кварцевого песка или из глины водой, обработанной магнитным полем напряженностью 8,15 А/м. В этих условиях η не зависит от обработки воды магнитным полем.

Для установления наличия треххлористого железа, полученного после промывки пористых сред водным раствором соляной кислоты, были проведены анализы проб методом фотокалориметрического титрования. Были взяты три пористые среды равной массы — кварцевый песок, карбонаты и глина, которые отдельно промывались одним и тем же количеством водного раствора HCl. В продуктах реакции определялось количество ионов железа. Было установлено, что в глине количество ионов железа в 4 раза, а в карбонатах в 2 раза больше, чем в кварцевом песке.

Обобщая, можно заключить, что при обработке воды постоянным магнитным полем напряженностью 8,15 А/м происходит компенсация магнитного поля ферромагнетиков, в основном представленных гётитом, расположенных на поверхности твердой фазы пористой среды. Это приводит к лучшему отмыву углеводородных жидкостей в первую очередь из глинизированных пористых сред, во вторую — из карбонатов и не влияет на отмыв из кварцевого песка.

Положительные лабораторные исследования комбинированного воздействия магнитной обработки и циклической закачки воды в пласты, содержащие глину, стимулировали их промышленное внедрение. Циклическая закачка омагниченной воды осуществлялась в НГДУ «Сулеевнефть» ПО «Татнефть». Закачка омагниченной воды велась там в течение первых 15 сут каждого месяца. Непрерывно в течение суток измеряли расход воды до и после установки магнитного устройства, а также давление нагнетания. При этом циклическая закачка омагниченной воды резко увеличила приемистость скважин: средняя ее величина возросла на 57 %, а в некоторых циклах отмечалось повышение приемистости до 200 %. Давление нагнетания снизилось в среднем на 1 МПа. Было обращено внимание на то, что в суровых зимних условиях Татарии нагнетательные скважины с омагниченной водой не промерзли, а в скважинах с обычной водой происходили промерзание устья и прорывы линии нагнетания.

9.2. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СЕПАРАЦИЮ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СИСТЕМ

Для лабораторного исследования влияния электромагнитных полей на изменение сепарационных свойств газоконденсатных систем собрана экспериментальная установка, состоящая в основном из бомб высокого давления, сепаратора, источников магнитных полей и выпрямителя. В зависимости от конкретной поставленной экспериментальной задачи установка использовалась полностью или без отдельных элементов. Соединительная трубка, специально подобранная из немагнитного материала (медь, немагнитная сталь), в определенных участках проходила через зазор между полюсами электромагнитов, тем самым создавалась возможность многократного воздействия на газоконденсатную систему поперечным электромагнитным полем. Кроме основной экспериментальной установки были использованы отдельные вспомогательные установки, в частности, для заправки бомб при рекомбинировании газа и конденсата, аппаратура для хроматографического анализа состава газа и т.д.

Создана также установка для проведения промышленных экспериментов по изучению влияния электромагнитных полей на сепарационные свойства естественных газоконденсатных потоков. При этом использовалась передвижная сепарационная установка ЛПГ-1М с соответствующим дополнением электрической части.

В качестве источников магнитных полей собраны специальные электромагниты и соленоиды, дающие возможность создавать постоянные и переменные магнитные поля в широком диапазоне значений с максимальной индукцией 0,4 Тл.

Для конкретных экспериментальных задач были сконструированы электромагниты различной геометрической формы и размеров с регулируемыми магнитоиндукционными характеристиками. Для обеспечения работ с переменным током магнитопровод электромагнита был собран из листового железа. Исходя из того, что свойства поля в воздушном зазоре существенно зависят от формы наконечников, предусмотрено их различное сочетание. Учтена также возможность регулирования ширины зазора в соответствии с размером проходящей трубки.

Диапазон изменения поля в зазоре определялся соответствующим теоретическим расчетом. Напряженность магнитного поля регулировалась изменением тока, пропускаемого через катушку. Известно, что вследствие гистерезиса в магнитопроводе поле электромагнита не является однозначной функцией силы тока в обмотке. При этом для конкретного измерения напряженности использовали теслаамперметр или веберметр.

В зависимости от конкретной экспериментальной задачи было предусмотрено создание переменного или постоянного магнитного поля. При этом переменное магнитное поле создавалось подключением обмоток электромагнита к городской сети с частотой 50 Гц. Для создания постоянного магнитного поля использовались селеновые выпрямители переменного тока.

ИЗМЕНЕНИЯ ИЗОТЕРМ КОНДЕНСАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Для приготовленной смеси снималась обычная изотерма конденсации в отсутствии магнитного поля. Далее снималась изотерма конденсации для такой же смеси, но с предварительной обработкой в магнитном поле проб газа и конденсата, заправляемых в бомбу. При этом специальная трубка из немагнитного материала, через которую проводилась заправка, вплотную ставилась между полюсами электромагнита, и, таким образом, заправляемые газ и конденсат обрабатывались поперечным постоянным или переменным магнитными полями с определенной индукцией B .

На рис. 9.1 приведены результаты опыта с газоконденсатной смесью с газоконденсатным фактором $G = 3500 \text{ см}^3/\text{см}^3$ и давлением начала конденсации $p_{\text{нк}} = 29,7 \text{ МПа}$. Плотность заправляемого конденсата $\rho = 0,755 \text{ г}/\text{см}^3$, температура воздуха — $18 \text{ }^\circ\text{C}$. При этом полюса электромагнита с постоянным полем индукцией $0,08 \text{ Тл}$ охватывали участок по длине трубки $L_m = 15 \text{ см}$.

Как видно из соответствующих изотерм конденсации (см. рис. 9.1), при магнитной обработке происходит заметное увеличение отношения $V_{\text{ж.н}}/V_{\text{см}}$. При этом в рассматриваемом интервале давлений p_6 при наличии магнитной обработки наблюдается эффект увеличения от 3 до 30 %. Заметим, что контрольная точка, снятая на следующий день, указывает на наличие некоторой магнитной памяти системы.

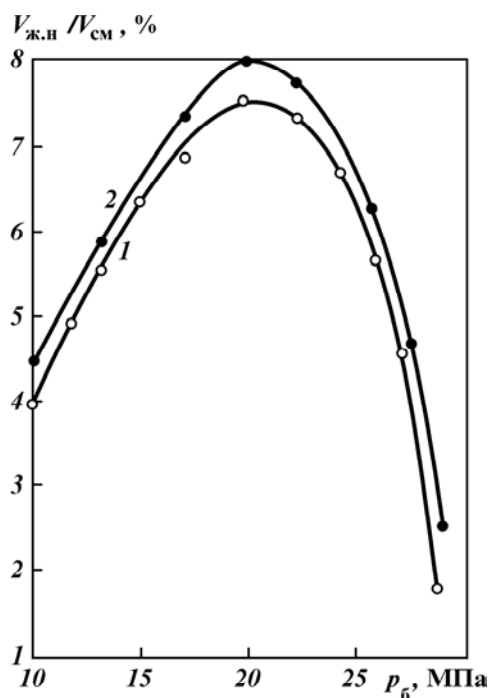


Рис. 9.1. Изотермы конденсации смеси с газоконденсатным фактором $3500 \text{ см}^3/\text{см}^3$: 1 — без обработки магнитным полем; 2 — с обработкой магнитным полем

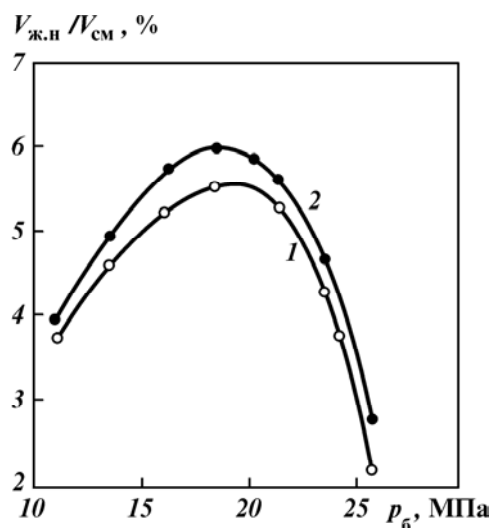


Рис. 9.2. Изотермы конденсации смеси с газоконденсатным фактором $4000 \text{ см}^3/\text{см}^3$ (постоянное магнитное поле). Усл. обозначения см. на рис. 9.1

Были проведены эксперименты с газоконденсатной системой с $p_{\text{нк}} = 27$ МПа. Температура воздуха -18 °С. Использовалось постоянное магнитное поле с индукцией 0,05 Тл. Эффект при этом был менее выраженным.

На рис. 9.2 приведены результаты опыта с газоконденсатной смесью с $\Gamma = 4000$ см³/см³, $p_{\text{нк}} = 26,4$ МПа. При обработке были использованы два последовательно поставленных электромагнита с постоянными полями с индукцией 0,09 Тл и $L_{\text{м}} = 15$ см, температура -18 °С. Как видно из соответствующих изотерм конденсации, при наличии магнитной обработки происходит очевидное увеличение $V_{\text{ж.н}}/V_{\text{см}}$.

В рассматриваемом интервале давлений эффект магнитной обработки наблюдается в пределах от 3,5 до 25 %. Проведенный при этом контрольный замер на следующий день вновь указывает на наличие магнитной памяти системы.

Рис. 9.3 соответствует опыту с газоконденсатной смесью с $\Gamma = 4000$ см³/см³, $p_{\text{нк}} = 26,7$ МПа. При этом магнитная обработка проводилась постоянным и переменным магнитными полями. В случае с постоянным полем были использованы два последовательно соединенных постоянных электромагнита (индукция $\sim 0,09$ Тл) с общей длиной охвата $L_{\text{м}} = 20$ см. Переменное поле с индукцией $\sim 0,1$ Тл создавалось двумя электромагнитами с общей длиной охвата $L_{\text{м}} = 15$ см. Отметим, что и в этом случае происходит увеличение $V_{\text{ж.н}}/V_{\text{см}}$ после магнитной обработки. При сравнении изотерм конденсации, соответствующих обработке в постоянном и переменном магнитных полях, видно, что в данном случае в переменном поле эффект больше. Так, в рассматриваемом интервале давлений p_0 от 10,7 до 21 МПа в постоянном поле эффект увеличения $V_{\text{ж.н}}/V_{\text{см}}$ колеблется от 3 до 7,1 %, а в переменном поле это же значение эффекта изменяется от 8,5 до 25 %.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что при наличии

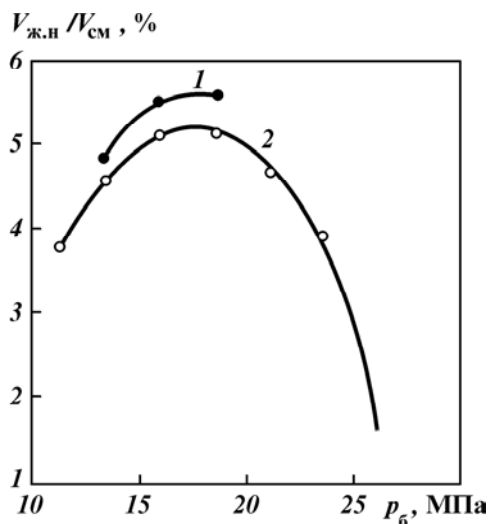


Рис. 9.3. Изотермы конденсации смеси с газоконденсатным фактором 4000 см³/см³:

1 – переменное, 2 – постоянное магнитное поле

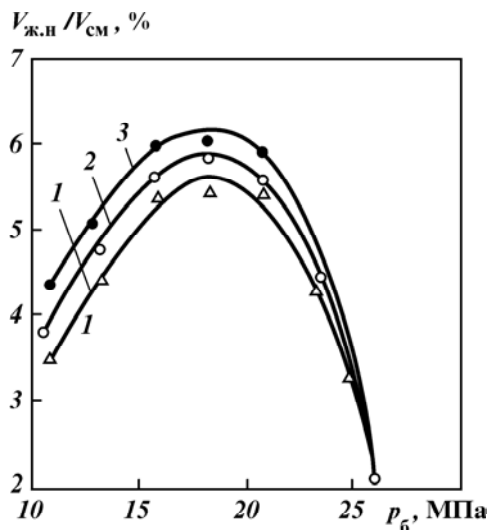


Рис. 9.4. Изотермы конденсации при магнитной обработке газовой шапки:

1 – без обработки; 2 – с обработкой постоянным магнитным полем; 3 – с обработкой переменным магнитным полем

магнитной обработки происходит очевидное смещение изотерм конденсации с увеличением $V_{ж. н}/V_{см}$.

В другой серии опытов были сняты изотермы конденсации с магнитной обработкой газовой шапки. В двух бомбах с одинаковой смесью одновременно понижалось давление до некоторого рассматриваемого значения $p(p_{нк})$. Образовавшаяся при этом газовая шапка переводилась из бомбы PVT в другую бомбу с обратной перекачкой в бомбу PVT. При магнитной обработке соединительная трубка из немагнитного материала вплотную ставилась между полюсами электромагнита. Затем бомбы закрывались, давление поднималось выше $p_{нк}$, и в бомбе PVT снималась точка, соответствующая рассматриваемому значению p при наличии магнитной обработки и без нее.

На рис. 9.4 приведены результаты магнитной обработки смеси с $\Gamma = 4000 \text{ см}^3/\text{см}^3$, $p_{нк} = 26,4 \text{ МПа}$ ($t = 21 \text{ }^\circ\text{C}$). Постоянное магнитное поле с индукцией $\sim 0,08 \text{ Тл}$ одного электромагнита охватывало участок трубки длиной $L_m = 20 \text{ см}$. Вначале для этой смеси была снята обычная изотерма конденсации, а затем проведены замеры в изложенной последовательности. На рис. 9.4 показаны соответствующие изотермы конденсации при наличии и отсутствии магнитной обработки. После магнитной обработки газовой шапки происходит увеличение $V_{ж. н}/V_{см}$ от 5 до 7 %.

Проведенные опыты показали, что при магнитной обработке газовой шапки «магнитная память» на следующий день не сохраняется.

Затем были проведены опыты, в которых магнитной обработке подвергалась газоконденсатная смесь в «однородном состоянии». Смесь при давлении выше $p_{нк}$ перекачивалась из одной бомбы в другую, и при магнитной обработке соединительная трубка ставилась между полюсами электромагнита. Как было отмечено, эффективность магнитной обработки диэлектрических жидкостей существенно зависит от градиентности магнитного воздействия. Исходя из этого, шестикратным перекачиванием смеси из одной бомбы в другую обеспечивалось многократное входное и выходное пересечение градиентных участков магнитных полей. Затем по известной методике проводился выпуск смеси из бомбы в сепаратор при определенных значениях давления и температуры сепарации ($p_{сеп}$, $t_{сеп}$). В некоторых опытах для повторной обработки соединительная трубка между бомбой и сепаратором также ставилась между полюсами электромагнита.

Выпуск осуществляли в основном одинаковыми порциями, определяемыми объемом сухого газа $V_{г.с}$ из сепаратора. При выпуске насыщенного конденсата из сепаратора при выходном давлении, равном атмосферному, определяли объем стабильного конденсата $V_{ж}$, а также объем «жирного» газа $V_{г.ж}$. При этом объем стабильного конденсата после магнитной обработки несколько увеличивался (в среднем на 3 %). Проведенный хроматографический анализ сухого газа показал, что магнитная обработка способствует созданию тяжелых компонентов в сепараторе и некоторому увеличению метана в составе сухого газа.

В табл. 9.1 приведены результаты опыта со смесью с $\Gamma = 2000 \text{ см}^3/\text{см}^3$, $p_{нк} = 27,7 \text{ МПа}$. Проводилась обработка постоянным магнитным полем с индукцией $0,06 \text{ Тл}$ при $L_m = 15 \text{ см}$, $t_{сеп} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ и различных давлениях сепарации. Как видно из этой таблицы, объем стабильного конденсата в основном не изменяется (увеличение $V_{ж}$ в данном случае наблюдается только при $p_{сеп} = 5,5 \text{ МПа}$); тем не менее, хроматографический анализ «жирного» газа (табл. 9.2) показывает заметное увеличение содержания (в %) тяжелых компонентов (C_5 , C_6) после магнитной обработки, что связано с уменьшением их уноса сухим

Таблица 9.1

$p_{сеп}$, МПа	$V_{г.с}$, л	$V_{г.ж}$, см ³	$V_{C_3+C_6}$, см ³	$V_{ж}$, см ³
<i>Без магнитной обработки</i>				
10,5	18	940	19,27	7
8	18	710	16	7
5,5	18,05	480	–	6,9
<i>С магнитной обработкой</i>				
10,5	17,98	1000	25,23	6,9
8	17,98	720	20,39	6,9
5,5	18	–	–	7,3

Таблица 9.2

$p_{сеп}$, МПа	C_1	C_2	C_3	$i-C_4$	$n-C_4$	$i-C_5$	$n-C_5$	C_6
<i>Без магнитной обработки</i>								
10,5	84,77	7,31	3,74	0,79	1,34	0,54	0,37	1,14
8	62,64	8,17	4,38	0,92	1,5	0,65	0,41	1,33
5,5	81,43	8,81	4,85	1,01	1,61	0,59	0,41	1,29
<i>С магнитной обработкой</i>								
10,5	85,24	7,41	3,72	0,81	1,32	0,55	0,42	1,53
8	82,39	8,06	4,31	0,93	1,5	0,69	0,45	1,68
5,5	82,57	7,52	4,59	1	1,52	0,64	0,4	1,76

газом. При этом объем $C_5 + C_6$ в «жирном» газе после магнитной обработки в среднем увеличивался на 28 %.

Данные табл. 9.3 соответствуют аналогичному опыту со смесью с $G = 2000 \text{ см}^3/\text{см}^3$ при $t_{сеп} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $p_{сеп} = 7,5 \text{ МПа}$. Постоянные магнитные поля двух электромагнитов индукцией 0,05 и 0,08 Тл соответственно охватывали

Таблица 9.3

Участок	C_1	C_2	C_3	$i-C_4$	$n-C_4$	$i-C_5$	$n-C_5$	C_6
<i>Без магнитной обработки</i>								
I	79,88	7,94	4,31	0,91	1,77	0,81	3,63	0,71
II	78,77	7,68	4,55	0,96	1,83	0,92	4,47	0,82
<i>С магнитной обработкой</i>								
I	77,15	8,10	4,63	0,89	2,05	0,93	5,24	0,96
II	78,10	7,63	4,48	0,94	1,85	0,94	5,1	0,95

Таблица 9.4

$V_{г.с}$, л	$V_{г.ж}$, см ³	Объем насыщенного конденсата	$V_{ж}$, см ³	τ , мин	Примечание
<i>Без магнитной обработки</i>					
25,03	1360	–	9,4	16,5	Продувка
14,58	750	7,63	5,7	14,5	«
15	745	7,62	5,7	9	Анализ
14,99	765	7,85	6,1	14,5	«
15,01	750	7,8	6	16,5	«
<i>С магнитной обработкой в переменном магнитном поле</i>					
25,07	1280	–	9,9	12	Продувка
14,99	750	7,76	6	10	Анализ
15	770	7,87	6	11	«
15	755	7,93	6	8,5	«

участки I и II с L_M соответственно 10 и 15 см. Кроме того, между бомбой и сепаратором также был установлен электромагнит с $B = 0,05$ Тл, $L_V = 10$ см.

Аналогичный эксперимент проведен с магнитной обработкой в переменном магнитном поле (табл. 9.4). При этом $\Gamma = 2000$ см³/см³, $t_{\text{сеп}} = 18$ °С, $p_{\text{сеп}} = 8$ МПа, $B = 0,07$ Тл, $L_M = 15$ см. Было установлено, что незначительное увеличение объема насыщенного конденсата после магнитной обработки сопровождается существенным возрастанием процентного содержания тяжелых компонентов в «жирном» газе. При этом объем $C_5 + C_6$ в «жирном» газе после магнитной обработки в среднем повышался на 18 %.

Результаты проведенных опытов показывают, что после магнитной обработки газоконденсатной смеси в «однородном состоянии» хотя и не наблюдается очевидное увеличение объема стабильного конденсата, тем не менее состав «жирного» газа претерпевает определенные изменения, выражающиеся в существенном возрастании содержания тяжелых компонентов.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ НА СЕПАРАЦИЮ ПРИ НАЛИЧИИ ВОДНЫХ ДОБАВОК

На основании результатов предыдущих опытов было выявлено, что при магнитной обработке уменьшается унос тяжелых компонентов и тем самым существенно увеличивается их содержание в «жирном» газе. Чтобы способствовать оседанию этих компонентов «жирного» газа в виде конденсата, было решено использовать включения, которые приоритетно реагировали бы на воздействие внешнего магнитного поля в качестве дополнительных активных центров конденсации. Этому требованию отвечает вода — высокополярное вещество, к тому же естественно содержащееся в промысловых газоконденсатных потоках.

По известной методике проводили выпуск смеси из бомбы с давлением p_6 выше $p_{\text{нк}}$ в сепаратор при определенных значениях $p_{\text{сеп}}$ и $t_{\text{сеп}}$. При этом между бомбой и сепаратором вертикально устанавливали цилиндрический контейнер с водой, и через нее при давлении выше $p_{\text{нк}}$ снизу вверх двигалась газоконденсатная смесь, увлекая с собой частицы воды. С целью предотвращения гидратообразования к воде добавляли определенное количество гликоля.

Для магнитной обработки использовали три электромагнита, устанавливаемых на разных участках соединительной трубки между бомбой и сепаратором. При этом два электромагнита с постоянными полями индукцией 0,09 Тл, каждый из которых охватывал участок трубки длиной $L_M = 15$ см, были поставлены на входных участках контейнера и сепаратора. Третий электромагнит с длиной охвата $L_M = 7$ см, питаемый переменным током с частотой 50 Гц и с полем индукцией 0,1 Тл, ставился на выходном участке после контейнера. Так же, как и в предыдущих опытах, выпуск проводили одинаковыми порциями, определяемыми объемом «сухого» газа из сепаратора. При выпуске насыщенного конденсата из сепаратора при давлении выпуска, равном атмосферному, определяли объем стабильного конденсата $V_{\text{ж}}$.

В первом опыте из этой серии экспериментов было рассмотрено воздействие магнитной обработки при низкотемпературной сепарации ($t_{\text{сеп}} = -1$ °С). Для рассматриваемой смеси $\Gamma = 3000$ см³/см³.

Результаты опыта приведены в табл. 9.5 и ниже.

Компонент.....	C_1	C_2	C_3	$i-C_4$	$n-C_4$	$i-C_5$	$n-C_5$	C_6
Содержание компонента, %:								
без магнитной обработки.....	79,27	6,77	4,07	0,84	1,77	0,82	5,66	0,6
с магнитной обработкой.....	71,74	8,17	4,8	1,09	2,42	1,14	9,57	1,07

Таблица 9.5

$V_{г.с.}, л$	$V_{г.ж.}, см^3$	$V_{ж.н.}, см^3$	$V_{ж.}, см^3$	Примечание
<i>Без магнитной обработки</i>				
20	–	–	–	Продувка
15	500	4,1	2,6	–
15	–	4,74	2,9	–
15	550	4,67	3	–
7,5	340	2,33	1,6	Хроматографический анализ
<i>С магнитной обработкой</i>				
20	–	6,68	3,8	Продувка
15	560	4,65	3	Хроматографический анализ
15	600	4,57	3	–

Как видно, объем стабильного конденсата в среднем остается постоянным. Но при этом анализ «жирного» газа показывает резкое изменение содержания компонентов после магнитной обработки. Так, в среднем содержание (по объему) метана уменьшается на 10 %, содержание $C_2 + C_3 + C_4$ повышается на 22 %, а тяжелых компонентов $C_5 + C_6$ возрастает на 61 %.

Затем были проведены опыты при обычных температурах сепарации. Использовалась смесь с $G = 3200 \text{ см}^3/\text{см}^3$, $p_{нк} = 27 \text{ МПа}$ при $t_{сеп} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$. В ходе опыта объемы насыщенного и стабильного конденсата после магнитной обработки возрастают в среднем на 5 %.

Результаты опытов показывают, что при наличии в потоке газоконденсатной системы частиц высокополярного вещества – воды – после магнитной обработки наблюдается заметное увеличение объемов насыщенного и стабильного конденсата. Наблюдается при этом резкое увеличение содержания (по объему) тяжелых компонентов в «жирном» газе после магнитной обработки при низкотемпературной сепарации.

Проведен также опыт без водных добавок с использованием ацетона, также являющегося полярным веществом. При этом определенное количество ацетона заправлялся в бомбу, содержащую рассматриваемую смесь ($p_{нк} = 25,5 \text{ МПа}$). Результаты опыта показывают, что при этом наблюдается увеличение объема стабильного конденсата на 4 %.

9.3. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕ

В процессе эксплуатации газоконденсатных месторождений одним из основных вопросов является борьба с гидратообразованием при внутрипромысловом транспорте получаемой продукции. Образование гидратов обусловлено как климатическими условиями, так и технико-технологическими условиями добычи и транспорта газоконденсатной системы.

В настоящее время основным методом борьбы с гидратообразованием является применение различных реагентов, отрицательно воздействующих на обслуживающий персонал и окружающую среду. В последнее время в нефтепромысловой практике большое развитие получили методы регулирования различных технологических процессов, основанные на применении физических полей.

Рассмотрим вопросы борьбы с гидратообразованием под воздействием магнитных полей.

На специальной установке, основным элементом которой являлся участок трубы с электромагнитом, были проведены четыре серии опытов, отличающиеся друг от друга перепадами давления, определяющими режим течения газоконденсатоводяной смеси в трубе. В качестве модели газоконденсатной смеси использовался природный газ скв. 525 месторождения Сангачалы – Дуванный-море – о. Булла со следующим составом, %: $C_1 - 95,16$; $C_2 - 2,98$; $C_3 - 0,87$; $C_4 - 0,41$; $C_5 - 0,18$; $C_6 - 0,08$; $C_7 - 0,02$; воздух – 1,48; содержание конденсата – $161,8 \text{ г/м}^3$. Температура опытов выбиралась в соответствии с уровнем давления и составляла 12°C .

В первой серии опытов перепад давления Δp составлял $0,15 \text{ МПа}$. После прохождения 1000 см^3 газа через рабочую длину трубки с местным сопротивлением давление на выходе резко упало до нуля, что свидетельствует об образовании и накоплении гидратной массы в зоне сопротивления.

Во второй серии были проведены аналогичные опыты, но в этом случае перепад давления Δp составлял $0,81 \text{ МПа}$. Здесь наблюдалось следующее. После прохождения $15\,900 \text{ см}^3$ газа давление на выходе упало до нуля, что определяет момент выпадения гидрата.

В третьей серии аналогичные опыты были проведены при значении перепада давления $\Delta p = 0,7 \text{ МПа}$. Здесь также после протекания через рабочую длину $74\,000 \text{ см}^3$ газа фиксировалось заклинивание системы выпавшим гидратом.

В четвертой серии опытов при значении перепада давления $\Delta p = 0,8 \text{ МПа}$ образование гидратной пробки наблюдалось после прохождения $316\,300 \text{ см}^3$ газа через рабочую длину трубки.

По окончании опытов была построена зависимость $V_r = V_r(\Delta p)$, каждая точка которой определяет количество прошедшего газа V_r через рабочую длину установки при определенном перепаде давления до момента образования гидратной пробки (рис. 9.5, кривая 1).

На втором этапе исследований рассмотрены физические методы воздействия на исследуемые газоконденсатные системы с целью предотвращения гидратообразования. Эксперименты проводили по той же схеме, но в этом случае газ перед прохождением рабочей длины обрабатывали постоянным магнитным полем. Здесь нужно отметить следующее. Во всех предыдущих и последующих опытах перед началом эксперимента диафрагма (местное сопротивление) и соединительные линии тщательно промывались, высушивались и очищались от находившегося в них выпавшего гидрата. Во всех опытах напряженность магнитного поля составляла $6,9 \text{ А/м}$.

Эксперименты с омагниченным влажным газом проводились при тех же условиях, что и без магнитной обработки.

Результаты опытов первой серии показывают, что гидратообразование наблюдалось после прохождения $112\,100 \text{ см}^3$ газа при постоянном перепаде давления $\Delta p = 0,15 \text{ МПа}$. Сравнение результатов по первой серии опытов до и после магнитной обработки исследуемой смеси показало, что в данном случае магнитное воздействие привело к уменьшению скорости гидратообразования примерно в 5 раз. Во второй, третьей и четвертой сериях опытов, отличающихся друг от друга только значениями перепада давления, наблюдается аналогичная картина (см. рис. 9.5, кривая 2).

Третий этап исследований посвящен применению ПАВ для борьбы с гидратообразованием. В качестве ПАВ был использован сульфанола. Исследуемую систему обрабатывали следующим образом: перед тем как попасть в рабочую

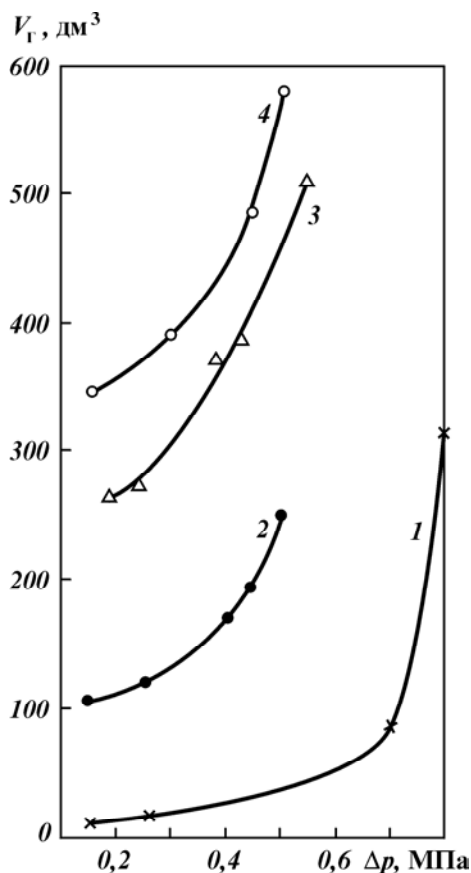


Рис. 9.5. Зависимость количества газа, прошедшего через установку, от перепада давления до момента образования гидратной пробки:

1 – без обработки магнитным полем; 2 – с обработкой постоянным магнитным полем; 3 – с обработкой ПАВ; 4 – с обработкой ПАВ и в условиях постоянного магнитного поля

Таблица 9.6

Номер скважины	$p_{вн}$, МПа	$p_{вых}$, МПа	Q_g , м ³ /сут	$Q_{гв}$, т/сут
325	6,6	5	12 500	8
525	6,4	5,2	23 750	20
535	10,4	8,1	17 187	16
522	6,3	4,9	18 500	10

часть установки, газ пропусклся через контейнер, наполненный 0,05%-ным водным раствором сульфанола. Опыты также проводились в четыре серии при прочих равных условиях. Сравнительный анализ данных показал, что обработка газоконденсатной смеси ПАВ способствует снижению скорости гидратообразования примерно в 10 раз (см. рис. 9.5, кривая 3).

На четвертом этапе исследований был рассмотрен вопрос комбинированного воздействия на газоконденсатную систему с целью уменьшения скорости и предотвращения гидратообразования. Опыты проводились по приведенной методике, за исключением того, что здесь газ обрабатывался ПАВ пропусканием его через водный раствор сульфанола с последующей обработкой постоянным магнитным полем. При анализе полученных результатов видно, что применение указанного способа приводит к увеличению пропускной способности трубопровода почти в 15–18 раз (см. рис. 9.5, кривая 4).

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы. Установлено наличие оптимальной скорости течения газоконденсатной смеси через трубопровод, обуславливающей наименьшую скорость образования гидратных пробок.

Показано значительное уменьшение скорости гидратообразования в результате комбинированной физико-химической обработки движущегося газоконденсатного потока (магнитное поле + ПАВ).

В настоящее время против выпадания гидратных осадков применяются специальные присадки на основе метанола, предотвращающие образование гидратов в переходных участках выкидных линий скважин. Предлагаемые здесь методы борьбы с гидратообразованием отличаются от принятых существенным снижением эксплуатационных затрат, длительностью эффекта, отсутствием вредного воздействия на окружающую среду.

Результаты лабораторных исследований апробируются на ряде газоконденсатных скважин НГДУ им. Н. Нариманова. Согласно технологическому регламенту выкидные линии скв. 535, 325, 525, 522 оборудованы магнитным устройством и приспособлением для подачи ПАВ. Параметры работы скважин приведены в табл. 9.6.

9.4. ПРОМЫСЛОВЫЕ ОПЫТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Проведены промысловые опыты по качественной оценке влияния магнитных полей на сепарацию для естественных газоконденсатных систем. Для эксперимента была создана установка, состоящая из передвижной сепарационной установки АПГ-1М, дополненной соответствующей электрической частью для электромагнитного воздействия.

Эксперименты проведены на ГСП № 2 НГДУ им. Серебровского. Установка была подключена к коллекторной линии № 5 (до промысловых сепараторов) с гетерогенным газоконденсатным потоком, содержащим также нефть, воду, парафин и др. Магнитная обработка потока осуществлялась постоянным магнитным полем от электромагнита, установленного на входном участке сепаратора. При этом труба из немагнитного материала проходила между полюсами электромагнита, и на участке длиной 20 см на поток действовало поперечное постоянное магнитное поле.

Исходя из того, что состав газоконденсатного потока не всегда остается постоянным, проведены эксперименты при случайном чередовании наличия и отсутствия магнитного воздействия и при различной длительности времени замера. Фиксировались давления на входном участке до сепаратора $p_{вх}$, в сепараторе $p_{сеп}$ и на выкидной газовой линии на выходе сепаратора $p_{вых}$. Были проведены опыты с индукцией магнитного поля, равной 0,12 Тл. В течение первого эксперимента входное давление оставалось постоянным. Значения $V_{ж}$ при наличии поля превышали значения $V_{ж}$ при его отсутствии в среднем на 7 %.

В другом опыте с длительностью замера 10 мин проводилось последовательное чередование отсутствия и наличия магнитного поля. При этом $p_{вых} = 1,1$ МПа. В этом опыте эффект магнитного воздействия в среднем составил 8 %.

Результаты опытов показали, что увеличение $V_{ж}$ после магнитной обработки при $p_{вых} = 0,9$ МПа достигает 23 %. Из результатов опытов, проведенных при $p_{вых} = 1,1$ МПа, видно, что после магнитной обработки объем стабильного конденсата в среднем возрастает на 9,5 %.

При проведении опытов было замечено, что входное давление $p_{вх}$, а также давление в сепараторе $p_{сеп}$ активно реагируют на изменение состава газоконден-

сатного потока. Исходя из этого, во всех проведенных опытах, были выбраны последовательные замеры, при которых $p_{\text{вх}}(p_{\text{сеп}})$ оставались практически постоянными. При этом объем стабильного конденсата после магнитной обработки во всех замерах только повышался.

Результаты последующих промысловых опытов с различными значениями магнитной индукции (0,06–0,12 Тл) показали, что после магнитной обработки объем стабильного конденсата в среднем возрастает соответственно на 2,2–12,4 %. Были проведены также опыты, в которых трубка проходила между полюсами двух электромагнитов с общей длиной охвата 40 см. Магнитные поля этих электромагнитов устанавливались соответственно равными 0,06 и 0,1 Тл. При этом объем стабильного конденсата увеличивался на 4,5 %.

На контрольном сепараторе УКПГ-1 ПО «Оренбурггаздобыча» было проведено опытно-промышленное испытание улучшения сепарационных свойств газоконденсатных систем воздействием магнитными полями. В соответствии с программой перед началом испытания катушка перед контрольным сепаратором была заменена на соответствующую конструкцию с трубкой из нержавеющей стали марки X17H13M2T. При этом трубка проходила между полюсами двух электромагнитов с общей длиной охвата 60 см.

Испытания проводились следующим образом: 1) скважины (скв. 722, 716) за день переводились на соответствующий режим; 2) проводились замеры выхода конденсата, газа и отбор проб для анализа компонентного состава газа; 3) создавались постоянные магнитные поля различной напряженности (7,5–25,1 А/м), при этом также проводились замеры конденсата, газа и отбор проб для анализа.

В табл. 9.7–9.10 приводятся некоторые результаты промышленных испытаний. При воздействии определенных магнитных полей наблюдалось заметное улучшение сепарационных свойств газоконденсатных систем. При этом количество выделившегося конденсата повысилось в среднем на 5–7 %. Из приведенных анализов газа видно некоторое уменьшение содержания тяжелых углеводородов (C_{5+}) в составе газа после магнитной обработки.

На основании полученных результатов был составлен акт промышленного испытания, в выводах которого отмечалось, в частности, необходимость прове-

Таблица 9.7

Условия испытаний	Время замера, мин	Расход конденсата, л/мин	
Отсутствие магнитного поля	30	23,3	
	30	23,2	
	30	23,2	
Наличие магнитного поля:			
	$H_1 = 20,0\text{--}25,1$ А/м	30	25,3
		30	24,9
		30	26
	$H_2 = 12,6\text{--}18,9$ А/м	30	25
		30	25,2
$H_3 = 6,3\text{--}10,9$ А/м	30	24,4	
Отсутствие магнитного поля	10	23,4	

Примечание. Во всех экспериментах расход газа составлял 20 тыс. м³/ч, давление сепарации – 10,8 МПа, температура потока – 6 °С.

Таблица 9.8

Компонент	Содержание, %	
	без поля	при наличии поля
N ₂	6,96	5,95
H ₂ S	1,84	1,17
C ₁	84,05	85,64
C ₂	3,99	3,41
C ₃	1,59	1,28
<i>i</i> -C ₄	0,28	0,37
<i>n</i> -C ₄	0,48	0,18
<i>i</i> -C ₅	0,22	0,1
<i>n</i> -C ₅	0,18	0,13
C ₆	0,27	0,07
CO ₂	0,64	1,71
Плотность смеси, г/см ³	0,85	0,834

Таблица 9.9

Условия испытаний	Расход конденсата, л/мин	Время замера, мин	Температура сепарации, °С	
Отсутствие магнитного поля	191	10	4,5	
	184	10	4,5	
	194	10	4,5	
	188	10	4,5	
Наличие магнитного поля: $H_1 = 20,0$ – $25,1$ А/м	199	10	4,5	
	204	10	4,5	
	207	10	4,5	
	$H_2 = 12,6$ – $18,9$ А/м	403	10	5
		199	10	5
		201	10	5
	$H_3 = 6,3$ – $10,9$ А/м	30	24,4	6
	Отсутствие магнитного поля	193	10	5
588		30	5	

Примечание. Во всех экспериментах расход газа составлял 20 тыс. м³/ч, давление сепарации – 11,2 МПа.

Таблица 9.10

Компонент	Содержание, %	
	без поля	при наличии поля
N ₂	5,85	5,87
H ₂ S	1,37	1,17
C ₁	85,1	85,58
C ₂	4,31	4,17
C ₃	1,62	1,44
<i>i</i> -C ₄	0,27	0,25
<i>n</i> -C ₄	0,51	0,5
<i>i</i> -C ₅	0,19	0,17
<i>n</i> -C ₅	0,14	0,13
C ₆	0,13	0,11
CO ₂	0,51	1,61
Плотность смеси, г/см ³	0,839	0,834

дения соответствующей разработки для промышленного внедрения магнитно-сепарационных установок на действующих технологических линиях.

Проведенные опыты по промышленному испытанию, а также предыдущие промысловые опыты показали, что эффект проявлялся неоднозначно, варьируя в широком интервале значений. Это объясняется многофакторностью процесса. Степень выраженности магнитного воздействия определяется комплексом макро- и микрофакторов, некоторые из них имеют объективно неконтролируемый характер. Несомненную роль при этом играет конкретное состояние солнечной и земной магнитной активности. Тем не менее, магнитный способ улучшения сепарационных свойств газоконденсатных систем не перестает быть эффективным даже при самой малой выраженности эффекта, полученной в результате проведенных исследований.

Практическая неконтролируемость некоторых факторов чрезвычайно осложняет определение обобщенных оптимальных характеристик магнитного воздействия. Приближенные оптимальные условия должны определяться для каждого конкретного объекта на основе длительного и комплексного изучения.

9.5. НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В БОРЬБЕ С ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕМ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

К настоящему времени разработано несколько способов борьбы с гидратообразованием при добыче и транспорте природного газа. Известно, что в газе, осушенном до точки росы (-20 – -25 °С), количество водяных паров настолько мало, что гидратообразование не может стать помехой для транспортировки

газа. В середине 1970-х гг. наряду с трубопроводным транспортом газа возникла идея транспорта природного газа в гидратном состоянии, хотя такой метод транспорта трудноосуществим из-за экономической нецелесообразности и технической сложности.

Известно, что из всех ингибиторов, используемых в борьбе с гидратообразованием, наиболее эффективным и доступным является метанол. На некоторых месторождениях расход метанола составляет несколько десятков тонн в сутки. Для повышения эффективности борьбы с гидратообразованием необходимо уменьшить расход метанола путем его регенерации. Однако регенерация метанола – не единственная возможность повышения эффективности борьбы с гидратообразованием. Одним из таких методов, позволяющих сократить расход метанола в 2 раза и более, является технология, предложенная А.Х. Мирзаджанзаде; она основана на использовании «памяти» воды в отношении химических реагентов, применяемых в бурении и транспортировке нефти и газа. Сущность этой концепции заключается в том, что гранулированные минеральные полимеры насыщаются метанолом, и природный газ, насыщенный водой, пропускается через слой гранул. Ассоциаты воды, содержащиеся в потоке природного газа, контактируют со слоем метанола на поверхности гранул неорганического полимера. Такая технология была испытана с применением бентонита и при его отсутствии. Результаты этих испытаний приведены в табл. 9.11, из данных которой видно, что метанол, смачивающий бетонит, резко сокращает количество метанола, необходимого для борьбы с гидратообразованием в пути потока газа. Прямой ввод метанола в поток, как видно из экспериментальных данных, также предотвращает гидратообразование, однако его расход при этом увеличивается в 2 раза и более.

Сущность бентонит-метанольного действия заключается в том, что он катализирует процесс разрушения больших ассоциатов до мелких фрагментов, способствуют сдвигу равновесия в сторону исходных компонентов.

Показано, что газовые гидраты образуются за счет взаимодействия высокомолекулярных ассоциатов воды, полости которых являются этропийно благополучными для клатратообразования, т.е. гидраты возникают в том случае, если размеры углеводорода соответствуют размеру полости ассоциата воды. Установлено, что оптимальная степень ассоциации воды, необходимая для гидрато-

Таблица 9.11

Результаты испытаний системы ингибиторов для борьбы с гидратообразованием*

Перепад давления, МПа	Объем газа, л			
	без воздействия	при введении		
		бентонитовой глины	метанола**	бентонита, насыщенного мета- нолом***
0,18	4,8	72	980	2300
0,27	5,9	86	1100	2500
0,34	6,2	102	1600	3300
0,5	7,3	126	1730	3800

* Указанные в таблице объемы газов (л) проходят через трубку до образования закупоривающих ее газовых гидратов.
 ** Количество чистого метанола, введенного в газовый поток, берется равным количеству метанола, адсорбированного бентонитом.
 *** 54 г бентонита насыщаются 3,0 г метанола.

Таблица 9.12

Колебание потенциала ион-селективного электрода, введенного в поток водонасыщенного природного газа, на стендовой установке

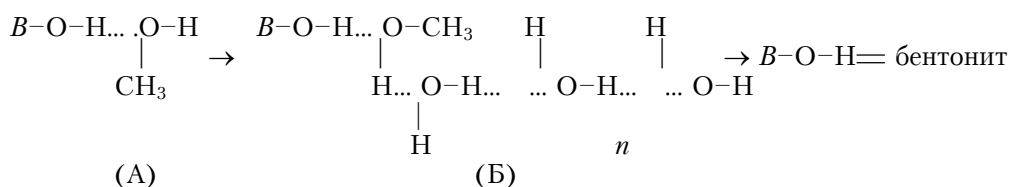
Время, мин	Потенциал электрода, мВ, при t , °С				Время, мин	Потенциал электрода, мВ, при t , °С			
	-11	-3	+15	+20		-11	-3	+15	+20
5	8,3	11,2	14,3	16,6	35	8,5	11,5	14,5	17,1
10	14,7	16,2	16,4	16,8	40	15,2	15,9	15,6	16,9
15	8,4	10,9	16,1	17,2	45	7,8	10,9	16,2	16,6
20	15,1	15,8	17,3	17,7	50	14,6	15,3	17,5	16,8
25	7,9	11,3	16,2	18,7	55	–	–	–	17,5
30	14,5	16,4	15,2	18,3					

образования с углеводородами, в зависимости от их размера составляет 17–25 молекул. При контактировании таких ассоциатов воды с поверхностью полимерных гранул, насыщенных метанолом, происходит распад таких больших ассоциатов на мелкие фрагменты за счет гель-иммобилизованного катализа, обеспечивающего неравновесность процесса гидратообразования. В процессах распада и образования газовых гидратов наблюдают автоколебательные изменения, характерные для неравновесных систем.

Потенциал ион-селективного электрода, изготовленного на основе дибензо-18-краун-6, ПВХ и дибутилфталата, при вводе его в увлажненный поток газа в зависимости от распада и образования газовых гидратов соответственно либо резко повышается, либо резко занижается по времени (табл. 9.12).

Экспериментально показано, что при разрушении газового гидрата электродный потенциал увеличивается, а в процессе образования гидрата уменьшается.

Как видно из табл. 9.12 изменение значений потенциалов происходит колебательно во времени. Примечательным является тот факт, что с повышением температуры от -11 до $+20$ °С периоды колебаний увеличиваются, а их амплитуды уменьшаются. Такой колебательный процесс, несомненно, обуславливается каталитическим действием гель-иммобилизованной системы, образующейся при насыщении бентонита и других неорганических полимеров (цеолиты, АСК и др.) метанолом. Действительно, уменьшение амплитуды колебаний связано с устойчивостью молекулярного комплекса метанол – бентонит, образующегося смачиванием метанола. Образование молекулярного комплекса (А), происходящее за счет сильной водородной связи между метанолом и бентонитом, установлено ИК-исследованиями. Далее молекулярный комплекс (А) при взаимодействии с ассоциатом воды газового потока переходит в сложный промежуточный комплекс (Б), который при распаде дает мелкие фрагменты, сопротивляющиеся достижению критического состояния – образованию гидратов.



Благодаря этому неравновесному процессу, обеспечивается саморегенерация метанола, смачивающего бентонит.

9.6. ВЛИЯНИЕ ОМАГНИЧЕННОЙ ВОДЫ И РАСТВОРОВ ПАВ НА КОНЕЧНУЮ КОНДЕНСАТООТДАЧУ

В процессе эксплуатации газоконденсатных месторождений одной из причин снижения производительности скважин является выпадение, накопление и частичный вынос конденсата в призабойной зоне пласта. Выпадение конденсата обусловлено снижением пластового давления ниже давления начала конденсации, вследствие чего ухудшаются фильтрационные характеристики пласта.

Одним из возможных методов борьбы с выпавшим конденсатом в призабойной зоне пласта является обработка этой зоны водными растворами ПАВ. Воздействие растворами ПАВ на пористую среду, насыщенную конденсатом, приводит к гидрофилизации поверхности капилляров, ухудшая тем самым смачиваемость породы конденсатом.

В технологических процессах нефтепромысловой практики большое развитие получило применение жидкостей, обработанных различными физическими полями. Так, в частности, закачка омагниченной воды в пласт в НГДУ «Суле-евнефть» привела к увеличению приемистости нагнетательных скважин в среднем на 18 %.

Пробы газа и конденсата были отобраны из месторождения Сангачалы-море. Доля метана в газе составляет 94,61 %. Плотность конденсата — 0,793 г/см³, вязкость — 2,3 мПа·с. Пористая среда состояла из 80 % кварцевого песка и 20 % глины монтмориллонитовой группы, в которую добавлялось 10 % воды от общей массы смеси. Вся смесь растиралась и оставлялась в герметичном сосуде на 48 ч для набухания глинистых частиц. Затем эта смесь равномерно затрамбовывалась в колонку — модель пласта. Насыщение колонки стабильным конденсатом проводилось в вертикальном положении прокачиванием его в количестве, равном объему пор. Первоначальный объем пор, определенный методом падения давления, был равен 340–350 см³. Количество стабильного конденсата в колонке определялось весовым способом. После этого колонку оставляли в вертикальном положении с открытыми вентилями, и под влиянием гравитационного поля происходило стекание конденсата. Оставшийся в колонке конденсат считали конденсатом, выпавшим в призабойной зоне пласта. Давление газа на входе в колонку поддерживалось постоянным и равнялось 2,5 МПа, на выходе — 0,1 МПа, температура — 303 К.

Было проведено две серии опытов по вытеснению выпавшего конденсата в пористой среде природным газом. В первой серии прокачивали природный газ до прекращения выхода конденсата. После этого с выходного конца колонки закачивали 0,5%-ный водный раствор ПАВ типа ИХОС-82 в объеме, равном 1/6 объема пор, т.е. 50 см³. Дальнейшая прокачка газа привела к приросту выноса конденсата на 14 %, суммарное количество вышедшего конденсата составило 49 %. Выплаживание кривой выхода конденсата свидетельствует о прекращении выхода конденсата. В этот период было закачено 50 см³ 0,5%-ного водного раствора ИХОС-82, обработанного поперечным магнитным полем напряженностью 6366 А/м. Прокачка газа в объеме 20 см³ дала прирост выхода конденсата на 3 %, что соответствует 52 % общего объема конденсата в колонке.

Аналогично была проведена и вторая серия опытов. Разница заключалась в дополнительной закачке воды. Вынос конденсата равен 1,5 % от всего количе-

ства конденсата. На втором этапе в колонку закачивали 50 см³ пресной воды. После вытеснения газом был получен прирост на 9 %, суммарный выход составил 10,5 %. На третьем этапе в колонку закачивали омагниченную воду (условия обработки магнитным полем такие же, как в первой серии). После вытеснения газом получен прирост конденсата на 5 % и общий вынос составил 15,5 %. На четвертом и пятом этапах провели «доотмыв» водным раствором ИХОС-82 (в последнем случае раствор был обработан магнитным полем); при этом получен прирост соответственно на 5 и 2 %, суммарный выход конденсата составил 22,5 %.

Из результатов проведенных экспериментов следует, что воздействие на пористую среду водными растворами ПАВ и растворами ПАВ, подвергнутыми воздействию магнитного поля, способствует увеличению выноса выпавшего конденсата.

9.7. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ КОРРОЗИИ ТРУБОПРОВОДОВ

В настоящее время большое внимание уделяется защите металлических трубопроводов от коррозии. Это связано с тем, что нефте- и газопромысловое оборудование эксплуатируется в условиях наличия высокоагрессивных рабочих сред, а также с другими особенностями работы оборудования.

Известно, что коррозия наносит огромный ущерб хозяйству; полагают, что около 30 % массы ежегодно производимых черных металлов расходуется на возмещение потерь металла от коррозии.

Существует ряд специальных методов противокоррозионной защиты: используются ингибиторы коррозии, бактерициды, защитные покрытия, неметаллические материалы, коррозионно-стойкие металлы и сплавы, а также катодная защита и т.д.

В нефтяной и газовой промышленности широко применяются ингибиторы коррозии. На сегодняшний день это один из самых эффективных и экономичных методов борьбы с коррозией. Однако и он имеет некоторые недостатки: 1) ограничение активности ингибитора оптимальным интервалом температуры; 2) необходимость применения дозаторных устройств для создания требуемых концентраций ингибитора. Все это приводит к дополнительным расходам.

При нанесении покрытий на внутреннюю поверхность труб для уменьшения коррозии эти расходы значительно возрастают.

Эксперимент по исследованию воздействия магнитного поля проводили с пластовой водой, а также при добавке к ней 0,01; 0,05 и 0,1 % тринатрийфосфата. Раствор тринатрийфосфата в воде снижает скорость коррозии по сравнению с пластовой водой на 20 %; оптимальной концентрацией при этом является 0,05 % ПАВ. Изучение комбинированного воздействия омагниченного раствора ПАВ на скорость коррозии проводили при указанной оптимальной концентрации водного раствора ПАВ (0,05 %), который обрабатывался постоянным поперечным магнитным полем напряженностью 5000 А/м. Выяснено, что при такой обработке скорость коррозии снижается на 50–53 % по сравнению с водой.

В газодобыче наиболее интенсивная коррозия наблюдается при кислотной

обработке призабойной зоны скважины. Для снижения скорости коррозии в последние годы при кислотной обработке используются различные ингибиторы, которые при своей дороговизне сравнительно малоэффективны.

Рассматривалась возможность уменьшения скорости коррозии металлов без применения ингибиторов при прокачке растворов кислоты созданием постоянного поперечного магнитного поля. Исследования проводились аналогично выше приведенным с той лишь разницей, что вместо раствора ПАВ применяли 15%-ный водный раствор соляной кислоты.

Результаты исследований показали, что магнитная обработка водного раствора соляной кислоты приводит к снижению скорости коррозии металла на 60–62 %.