

УДК 622.276.22

О.Р. Латыпов, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»;

Д.Е. Бугай, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

# О ПРИМЕНЕНИИ АГРЕГАТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье описаны разработанные метод и агрегат для управления электрохимическими параметрами технологических жидкостей. Показаны результаты исследований изменения значений pH и Eh в зависимости от силы тока и продолжительности обработки. Построена математическая модель этой зависимости, и приведены расчетные параметры агрегата на основании модели. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний агрегата в условиях действующих объектов нефтепромыслов.

**Ключевые слова:** скорость коррозии, электрохимические параметры, технологическая жидкость, нефтепромысловое оборудование, агрегат.

В настоящее время большинство нефтяных месторождений РФ находится на поздних этапах разработки, в связи с чем добыча нефти осуществляется в условиях ее высокой обводненности. Наличие в технологических системах нефтепромыслов значительного количества пластовой воды способствует развитию ряда серьезных осложнений при добыче нефти, которые приводят к нарушению нормального режима эксплуатации оборудования на объектах добычи, подготовки, хранения, транспортировки и переработки нефти [1]. Высокая агрессивность технологических жидкостей связана с присутствием в них растворенных газов ( $H_2S$  и  $CO_2$ ), механических примесей, ионов солей ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ), водорастворимых нафтеновых и минеральных кислот и оснований, а также микроорганизмов, продукты жизнедея-

тельности которых вызывают активную биокоррозию металла [2]. Согласно данным статистических исследований отказов и разрушений нефтегазового оборудования, можно отметить, что коррозия металла и образование ее продуктов, способствующих загрязнению транспортируемого сырья, представляют основные осложнения, существенно сокращающие ресурс оборудования.

Специфика коррозионного разрушения различного нефтепромыслового оборудования связана с гетерогенностью добываемой из скважины жидкости. Коррозионные свойства добываемой из скважины нефти, газа и воды определяются физико-химическими свойствами этих трех составляющих, в основном свойствами воды. Однако результирующая агрессивность этой сложной смеси во многом зависит от ряда внеш-

них и внутренних факторов, связанных с конкретными условиями. Характер и степень коррозионного воздействия на оборудование промыслов жидкости, добываемой из скважины, зависит не только от физико-химических свойств нефти, но и от условий залегания нефти в пласте, от способа разработки и эксплуатации нефтяного месторождения, от применения той или иной техники и технологии добычи, сбора и транспортировки нефти на промыслах, а также от периода разработки, в котором находится месторождение [3].

Коррозионному разрушению наиболее подвержены оборудование и системы, в рабочей среде которого содержится вода в каком-либо агрегатном состоянии, что часто способствует развитию коррозии по электрохимическому механизму. При электрохимической реакции прямой контакт между реагиру-

ющими частицами заменяется их контактом с соответствующим металлом. При этом реакция и связанные с ней энергетические изменения остаются теми же (независимо от того, протекает она по химическому или же электрохимическому пути), но кинетические условия могут быть различными. Энергия активации при электрохимическом механизме благодаря каталитическим свойствам металлов может быть иной, чем при гомогенном химическом механизме, кроме того, она зависит от потенциала. В электрохимических реакциях обязательно участвуют электроны, а часто и другие заряженные частицы – катионы и анионы, что составляет одну из их основных характерных особенностей. Энергия таких частиц, естественно, является функцией электрического поля, создаваемого на границе «электропроводящее тело – электролит».

Отсюда следует, что и скорость электрохимической реакции зависит не только от температуры, активностей ее участников и катализатора, т.е. от тех же факторов, которые определяют скорость химической реакции, но и от потенциала на границе раздела фаз различной проводимости. Варьирование потенциала границы при сохранении постоянными концентраций участников электрохимической реакции и температуры позволяет в десятки, сотни и тысячи раз менять скорость реакции, а в ряде случаев – и природу ее продуктов. Это делает электрохимические реакции более управляемыми и легче контролируруемыми, чем химические. Электрохимические реакции можно представить как химические реакции, скорость которых является функцией потенциала. Поэтому электрохимические реакции отличаются от химических не только по энергетическому эффекту процесса, но также и по величине энергии активации. Электрохимические реакции совершаются на границе раздела фаз и связаны с переносом

через нее электрических зарядов в виде расчлененных актов окисления и восстановления. Чаще всего это можно наблюдать в растворах электролитов [4].

Для исследования воздействия электрического поля на промышленные среды разрабатывается метод для управления электрохимическими параметрами этих сред. Согласно методу, поток среды проходит обработку электрическим полем в специальном агрегате, который способствует разделению потока жидкости на два разноименно заряженных: анолит и католит.

В одном потоке (анолите) преобладают положительно заряженные ионы, а в другом (католите) – отрицательно заряженные. Дальнейший ввод одного из обработанных потоков в систему поддержания пластового давления (ППД) способствует перераспределению ионного состава нефтепромысловых сред. Каждый из заряженных потоков действует по-своему на ионный состав жидкости и ее свойства. Введение католита способствует подщелачиванию среды и смещению  $E_H$  в отрицательную сторону, а анолита – наоборот, к подкислению среды и смещению  $E_H$  в положительную сторону [5–6]. Применение электрического тока дает возможность осуществить его регулирование уже на входе в агрегат для обработки промышленной среды, что позволяет за

счет этого управлять выходными параметрами обработанной жидкости [7]. Ключевые направления исследований предусматривают разработку агрегатов для управления электрохимическими параметрами промышленных сред и определение расчетных значений параметров, задаваемых на агрегатах, необходимых для снижения скорости коррозии металлического оборудования.

Исследования для определения зависимости изменения электрохимических параметров жидкостей посредством их электризации проводили в стационарных условиях. Для этого был разработан лабораторный стенд (рис. 1) [8].

Лабораторный стенд для управления электрохимическими параметрами сред включает в себя следующие основные элементы:

- источник постоянного тока – станция катодной защиты КСЭР 0,2 МК ТС-0,3;
- магазин сопротивлений Р-33М;
- вольтамперметр ЭВ 4203;
- ячейка для электролиза воды ОХ-2.

Ячейку заполнили водой. Через электроды ячейки пропускали электрический ток с различными значениями силы тока. Напряжение на выходе источника постоянного тока составляло 24 В. С помощью реостата устанавливали различные значения силы тока. Продолжительность поддержания



Рис. 1. Внешний вид стенда для управления параметрами жидкостей

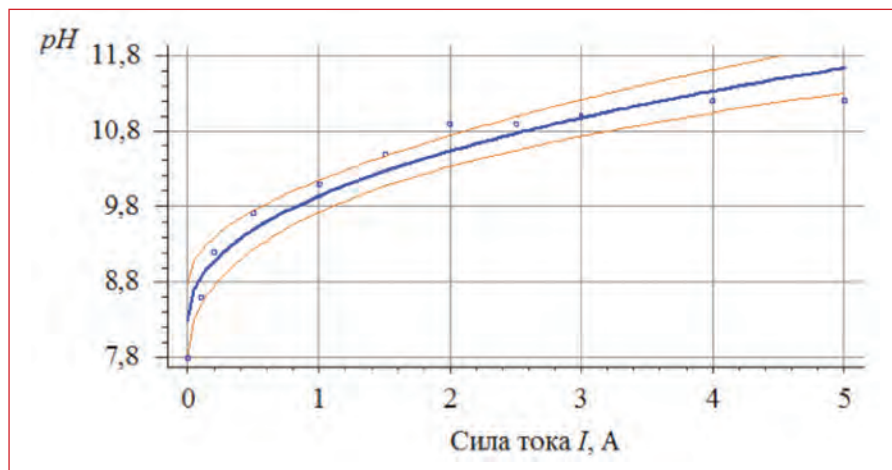


Рис. 2. Математическая модель зависимости pH от силы тока

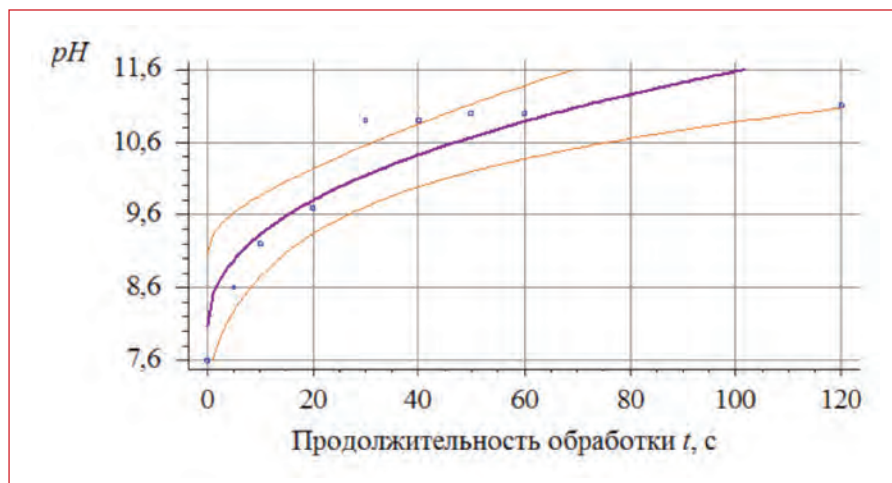


Рис. 3. Математическая модель зависимости pH от продолжительности обработки

нагрузки в ячейке составляла 30 секунд. Затем отбирали пробы раствора вблизи электродов и измеряли значения pH и Eh. Наибольшие изменения pH и Eh наблюдали в интервалах подаваемого электрического тока с силой от 0 до 2 А.

Дальнейшие исследования были направлены на определение зависимости изменения pH и Eh от продолжительности обработки. На электроды электрохимической ячейки подавали постоянный электрический ток с силой 2 А. Испытания проводили в течение 2 минут. Через определенные промежутки времени отбирали пробы воды и проводили измерения pH и Eh.

По полученным данным определили зависимость времени обработки растворов от силы тока, подаваемого на электроды, для получения

раствора с необходимыми параметрами. Для этого на компьютере с помощью статистического пакета провели регрессионный анализ зависимости pH от силы тока. На рисунке 2 показана математическая модель зависимости pH от силы тока.

Анализ показал, что модель, наиболее адекватно описывающая представленную функциональную зависимость (коэффициент корреляции 0,97), может быть представлена в виде

$$pH = (69,0845 + 29,6522\sqrt{I})^{0,5}, \quad (1)$$

где I – сила тока, А.

Аналогично провели регрессионный анализ зависимости pH от продолжительности обработки. На рисунке 3 показана математи-

ческая модель зависимости pH от продолжительности обработки.

Анализ показал, что модель, наиболее адекватно описывающая функциональную зависимость (коэффициент корреляции 0,91), может быть представлена в виде

$$pH = (66,52037 + 6,88072\sqrt{t})^{0,5}, \quad (2)$$

где t – продолжительность обработки.

Приравнявая (4) и (5), получаем линейную зависимость времени обработки растворов от силы тока, подаваемого на электроды:

$$t = 18,6 I - 1,1. \quad (3)$$

Одним из способов воздействия на электрохимические параметры технологических жидкостей является их непосредственная обработка в агрегатах постоянным электрическим током. При использовании в качестве обрабатываемой среды раствора соли для ее диссоциации необходимо использовать подвижность катионов и анионов, из которых состоит соль. Поэтому при расчете параметров агрегата, зная состав и концентрацию раствора соли, проходящего через него, можно определить минимальное расстояние между электродами l (м) и максимальную длину анода в агрегате L (м)

$$l = \frac{I \xi_p}{2\pi U \alpha C_3 (u_0 + v_0) F}, \quad (4)$$

$$L = \frac{\pi Q F^2 U^2 (k_1 l - k_2) \alpha^2 C_3^2 (u_0 + v_0)^2}{\xi_p^2}, \quad (5)$$

где  $\xi_p$  – электрокинетический потенциал на поверхности электродов при движении раствора соли, В; Q – расход жидкости в агрегате между электродами, м<sup>3</sup>/с; I – сила тока, подводимая к проводнику, А; U – приложенное напряжение, В; F – число Фарадея, Кл/экв.; t – минимальное время обработки раствора, с;  $u_0$  – скорость движения катионов, м/с;  $v_0$  – скорость движения анионов, м/с;  $\alpha$  – степени диссоциации электролита;

$c_3$  – концентрация раствора электролита, экв./м<sup>3</sup>.

Так как подвижности ионов солей на порядок ниже подвижности ионов гидроксония и гидроксил-ионов, то для осуществления электролиза необходимо увеличить силу тока между электродами. Для компенсации повышения плотности тока на аноде, которая способствует его нагреву, можно увеличить площадь анода, что при неизменной силе тока будет способствовать более полной диссоциации раствора соли.

С целью применения метода управления электрохимическими параметрами нефтепромысловых жидкостей была разработана специальная безмембранная конструкция агрегата типа УИС [9] для их непосредственной обработки (рис. 4).

Агрегат УИС 1-50-4,0 1М также предлагается использовать для разделения водонефтяной эмульсии и других технологических жидкостей. Агрегат был апробирован в условиях действующего нефтепромыслового оборудования. Через агрегат УИС 1-50-4,0 1М пропускали артезианскую воду, которая подпитывала систему ППД. Установлено, что после проведения испытаний скорость коррозии металлическо-

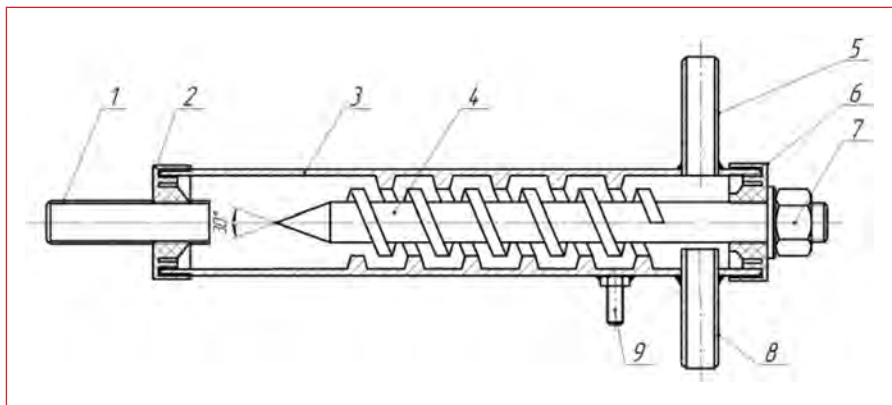


Рис. 4. Схема агрегата УИС 1-50-4,0 1М:

1 – входной штуцер; 2 – крышка 1; 3 – корпус; 4 – анод; 5, 8 – штуцеры для отбора катодита и анолита соответственно; 6 – крышка 2; 7, 9 – токовводы

го оборудования и трубопроводов, которая составляла 0,235 мм/год, снизилась в 3,7 раза и составила 0,064 мм/год.

Таким образом, применение метода и агрегатов для управления электрохимическими параметрами жидкостей позволяет значительно снизить скорость коррозии оборудования нефтепромыслов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали высокую эффективность применения метода для управления электрохимическими параметрами жидкостей. Так, увеличение значений pH и уменьшение Eh способствует снижению

скорости коррозии (в 3,7 раза на системах ППД). Управление этими значениями можно осуществить с помощью агрегата УИС 1-50-4,0 1М при величине силы тока на электродах 2 А. Это позволит принудительно вмешиваться в механизмы развивающихся осложнений, способствуя либо их предотвращению, либо существенному снижению наносимого ущерба. Решение данной проблемы откроет возможность значительного снижения затрат на подготовку, транспортировку и переработку нефти, повысит ресурс нефтепромыслового оборудования и обеспечит его эксплуатационную надежность и долговечность.

#### Литература:

1. Латыпов О.Р., Ахияров Р.Ж., Ибрагимов И.Г., Лаптев А.Б. и др. Оценка экономической эффективности комплексной подготовки воды на предприятиях нефтедобычи // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2009. № 2 (76). С. 58–64.
2. Латыпов О.Р. Повышение безопасности эксплуатации технологических объектов водооборотных систем нефтехимических предприятий // Материалы V научно-практической конференции «Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах». Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. С. 99–101.
3. Латыпов О.Р., Черепашкин С.Е., Боев Е.В. Снижение коррозионной активности промышленной среды // Сборник научных трудов SWorld. Вып. 4 (37). Т. 6. Одесса: Куприенко С.В., 2014. С. 84–86.
4. Гулин Д.А., Латыпов О.Р., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Снижение скорости коррозии стали 20 методом электроактивации коррозионной среды // Материалы 62-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. С. 146.
5. Кононов Д.В., Латыпов О.Р., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Использование активированной воды в нефтедобыче // Сборник докладов Международной научной конференции «Инновационная деятельность предприятий по исследованию, обработке и получению современных материалов и сплавов». М.: Машиностроение, 2012. Т. 1. С. 474–476.
6. Латыпов О.Р., Бугай Д.Е., Боев Е.В. Метод управления электрохимическими параметрами технологических жидкостей нефтепромыслов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2015. № 4. С. 42–44.
7. Латыпов О.Р., Бугай Д.Е. Воздействие электрического тока на электрохимические параметры водных сред // Материалы науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук». Уфа: ИП Верко «Печатный дом», 2012. Вып. 6. С. 97–99.
8. Латыпов О.Р., Степанов Д.В., Бугай Д.Е., Ибрагимов И.Г. Стенд для изменения электрохимических параметров технологических сред // Нефтегазовое дело. 2015. Т. 13. № 1. С. 119–124.
9. Латыпов О.Р., Тюсенков А.С., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Способ управления водородным показателем pH и окислительно-восстановительным потенциалом Eh технологических жидкостей нефтепромыслов и устройство для его осуществления: пат. 2546736 РФ: МПК С02F 1/46. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО УГНТУ, 2013157730/05. Заявл. 24.12.2013, опубл. 10.04.2015, бюл. № 10. 11 с: ил.