

## **Влияние электрохимической коррозии технологического оборудования на проведение работ по ограничению водопритоков в добывающих скважинах полимерно-гелевой системой «Темпоскрин-Плюс»**

**В.Б. Демьяновский<sup>1,2\*</sup>, Н.Р. Бакиров<sup>1,2\*\*</sup>, А.В. Пегов<sup>3\*\*\*</sup>**

1 – ИПНГ РАН, г. Москва;

2 – ООО НТФ «Атомбиотех», г. Москва;

3 – ООО «ГЕОС», г. Нефтеюганск

E-mail: \*demian20@yandex.ru, \*\*niyazzayin1994@gmail.com, \*\*\*a.pegov@mail.ru

**Аннотация.** На нефтяных месторождениях при проведении различных типов работ, включая ремонтно-изоляционные или по ограничению водопритока, требуется применение различных смесительных установок, среди которых присутствуют смесители с электроприводом. В данной работе изучается возможность протекания электролитической коррозии в смесительных установках с электрическим двигателем, а также ее влияние на процесс приготовления и конечные свойства полимерно-гелевых систем. Приведены результаты лабораторного исследования влияния электрохимических процессов на свойства полимерно-гелевой системы «Темпоскрин-Плюс».

**Ключевые слова:** электрохимическая коррозия, ограничение водопритока, «Темпоскрин-Плюс», электролиз, полимерно-гелевая система.

**Для цитирования:** Демьяновский В.Б., Бакиров Н.Р., Пегов А.В. Влияние электрохимической коррозии технологического оборудования на проведение работ по ограничению водопритоков в добывающих скважинах полимерно-гелевой системой «Темпоскрин-Плюс» // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 3(26). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-26.art13>

### **Введение**

Многие нефтяные месторождения РФ находятся на поздней стадии разработки, что характеризуется ростом обводненности добываемой продукции. Поэтому для повышения эффективности нефтедобычи на добывающих скважинах производят технологические операции по ограничению водопритока. Во время проведения таких работ на одном из месторождений Западной Сибири не удалось произвести закачку запланированного объема полимерно-гелевой системы (ПГС) «Темпоскрин-Плюс» в скважину ввиду достижения максимально разрешенного давления на устье скважины в 110 атм. Ранее при проведении работ по ограничению водопритоков по рассматриваемой технологии подобной проблемы не возникало [1]. Образовавшаяся проблема стала причиной более внимательного изучения технологических особенностей указанной технологии с

дополнительным исследованием на лабораторном уровне. В своей основе технология приготовления полимерно-гелевой системы заключается в корректном смешении сухого порошкообразного реагента с водой с последующей закачкой ее в пласт через насосно-компрессорные трубы, что и было продемонстрировано предыдущими промышленными испытаниями. В данном же случае, кроме невозможности закачки ПГС было обращено внимание на то, что полимерно-гелевая система визуально резко отличалась по структуре и цвету.

Для выяснения причин незапланированного хода работ на скважине и разработки методов устранения негативных последствий был проведен теоретический анализ проблемы и выполнены дополнительные лабораторные исследования.

В качестве основного технологического оборудования для приготовления полимерно-гелевой системы был выбран смеситель, представляющий собой две спаренные емкости объемом 9 м<sup>3</sup>, в каждой из которых имелась механическая мешалка пропеллерного типа, приводимая в движение через редуктор трехфазным электрическим двигателем. Были произведены лабораторные испытания физико-химических свойств полученной ПГС, а также дополнительно определены химические составы исходной воды и маточного раствора ПГС на этапах до и после приготовления полимерно-гелевой системы в технологическом смесителе. В результате было установлено, что внешний вид ПГС, приготовленной в производственных условиях, визуально не соответствует ПГС, подготовленной в лаборатории на модельной воде с минерализацией системы поддержания пластового давления (30 г/л). Сравнение химического состава воды, используемого для приготовления ПГС, и маточного раствора ПГС показало увеличение содержания ионов железа с 0.05 мг/л до 2.5 мг/л, соответственно. Произошло также изменение рН. Первоначальное значение рН = 6 ед. Перед вводом реагента «Темпоскрин-Плюс» к воде добавлялось до 0.5% соляной кислоты с контролем рН (до достижения рН = 1). Однако маточный раствор через некоторое время показывал повышение рН до 3 и более единиц.

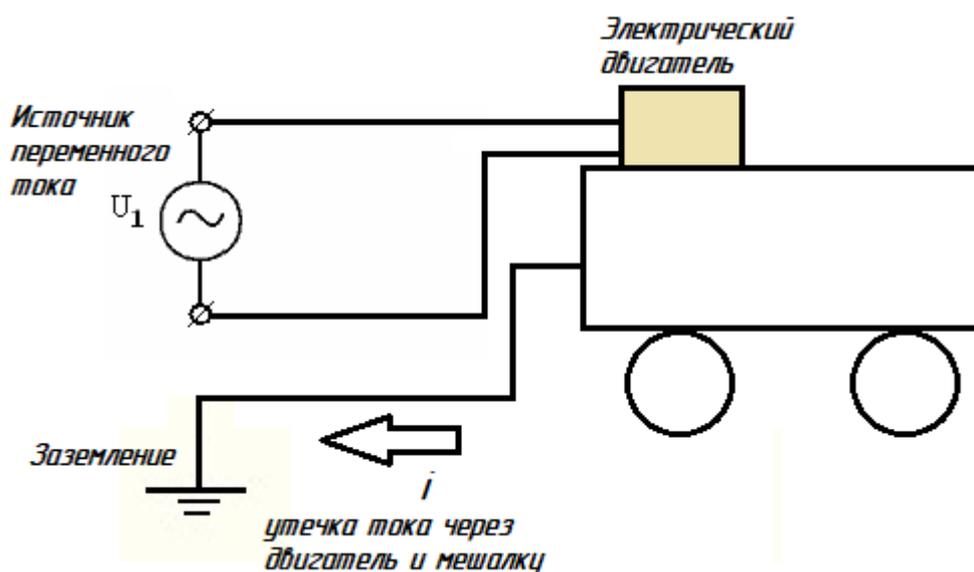
### **Теоретический анализ**

Первоначально было сделано предположение, что повышенное содержание железа в маточном растворе ПГС связано с протеканием реакции растворения оксида железа в разбавленном растворе HCl с поверхности изготовленного из стали смесителя:



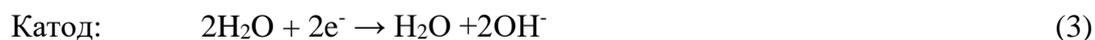
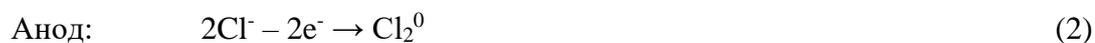
Однако эта реакция является обменной и не приводит к изменению pH раствора.

Поэтому было сделано предположение, что источником железа является сам смеситель. Это возможно, если допустить, что в смесителе протекают реакции электролиза за счет токов утечки между электрическим двигателем привода механической мешалки и стальным корпусом смесителя, который заземлен согласно правилам техники безопасности (рис. 1). В результате смесительную установку можно рассматривать как ячейку, в которой протекают электрохимические процессы [2]. Возможные реакции в этом случае аналогичны реакциям, происходящим при электролизе раствора хлорида натрия.



**Рис. 1.** Схематическая иллюстрация возможной утечки тока в смесительной установке

При этом на аноде и катоде протекают химические реакции.



В реакции на катоде образуются ионы гидроксила, что приводит к повышению pH.

Кроме того, следует учитывать анодную реакцию растворения железа, входящего в состав стали:



а также образование в растворе трехвалентного иона железа за счет окисления кислородом воздуха при перемешивании раствора и, возможно, за счет взаимодействия с продуктами восстановления на катоде:



Трехвалентные ионы железа для данной системы могут приводить к повышению жесткости гелевых частиц, которые из-за этого не могут быть закачаны в низкопроницаемые каналы породы пласта, и, следовательно, стать причиной резкого роста давления при закачке ПГС в скважину. Теоретический анализ проблемы позволил обосновать план лабораторного эксперимента по изучению воздействия электрохимических процессов на свойства полимерно-гелевой системы, включающий исследование влияния следующих факторов:

- содержания трехвалентного железа в воде;
- действия постоянного и переменного электрического тока.

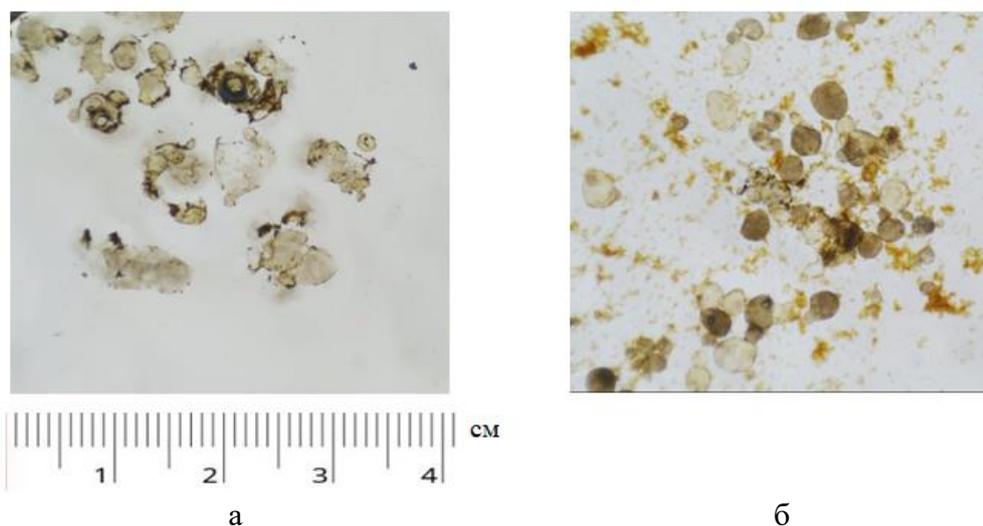
Следует отметить, что основным источником электрохимического воздействия на ПГС в данном случае является переменный электрический ток промышленной частоты, присутствующий в системе питания электродвигателей механической мешалки. Однако анализ системы электроснабжения механического смесителя с электроприводом позволил выявить ряд возможных случаев появления в системе постоянного паразитного тока за счет наличия элементов, выполняющих функцию выпрямителя переменного тока в постоянный пульсирующий. Такими элементами могут быть как диодные элементы в области контакта разнородных проводников, так и сами электрохимические ячейки. Например, известен факт образования выпрямляющей электродной системы в растворе электролита из железного и алюминиевого электрода [3, с. 283]. Возникновение паразитных токов в смесителе возможно за счет протекания тока от фазовой линии питания через смеситель и систему заземления. В случае применения трехфазных двигателей возможно протекание тока между заземлением и нулевой линией, подключенной к источнику трехфазного тока. Вопрос о том, что выполняет роль катода и анода в смесителе, в данном случае не рассматривается, но принимается, что металлический корпус смесителя, выполненный из стали, также является частью электрохимической системы.

Приведенный выше теоретический анализ не исключает возможности других причин изменения свойств ПГС, например, за счет влияния невыявленных факторов.

### Экспериментальная часть

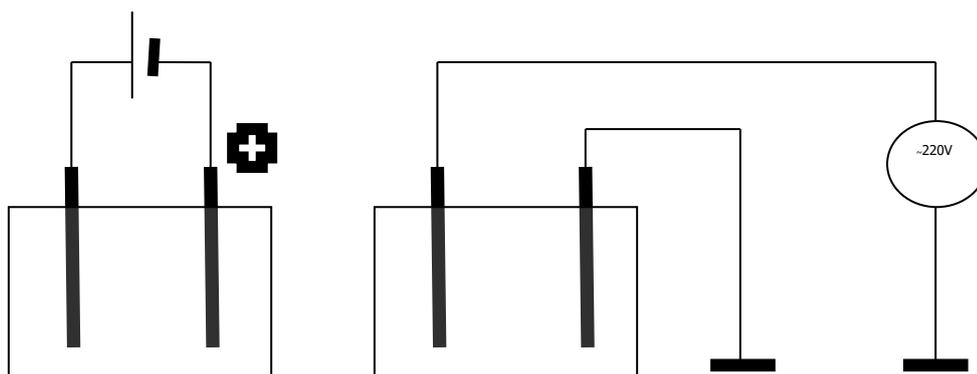
Влияние ионов трехвалентного железа на свойства полимерно-гелевой системы исследовалось путем контроля за формой и размерами отдельных частиц ПГС методом микроскопии.

Для этого ПГС «Темпоскрин-Плюс» готовили на основе модели пластовой воды с добавкой разного количества хлорида трехвалентного железа. Сравнение размеров частиц гелей, полученных на воде с содержанием железа 100 мг/л и 400 мг/л, показало уменьшение этих размеров, что указывает на увеличение плотности сшивок ионами  $Fe^{+3}$ . Размер частиц в воде с содержанием железа 100 мг/л достигает 6.7 мм, а в воде с содержанием железа 400 мг/л – 3.3 мм (рис. 2).



**Рис. 2.** Фотографии гелей ПГС «Темпоскрин-Плюс» в воде с содержанием  $Fe^{+3}$  100 мг/л (а) и 400 мг/л (б)

Проведение опытов по обработке ПГС постоянным и переменным электрическим током проводили на лабораторной установке, схема которой приведена на рис. 3. В качестве электролитической ячейки использован стеклянный стакан объемом 200 мл, в который заливали 100 мл испытуемого раствора. В ячейку помещали два цилиндрических электрода из стали в виде стержней диаметром 5 мм, их погружали в электролит на 30 мм. В ячейке использовалась мешалка, в качестве источника постоянного тока – регулируемый модуль, в качестве источника переменного тока – электрическая сеть.



**Рис. 3.** Схемы электрохимических ячеек на постоянном и переменном токе с заземленным электродом

Воздействие переменного тока на размер и форму частиц гелей показало, что прохождение переменного тока через пластовую воду с минерализацией 20 г/л и ПГС, приготовленную на ее основе, мало влияет на структурно-механические свойства гелей. Это можно объяснить тем, что при частом изменении полярности (50 гц) продукты электролиза не успевают отойти от электродов и система возвращается в исходное состояние при каждом изменении заряда электрода на противоположное. Контроль текущих параметров электрической цепи выполняли с использованием измерителя типа «Токовые клещи» марки UT210E (производитель UNI-T), позволяющего осуществлять бесконтактное измерение силы постоянного и переменного тока в одиночном проводнике (заземлении). Проведенные измерения показывают, что через ячейку протекает преимущественно переменный электрический ток силой 0.6 А.

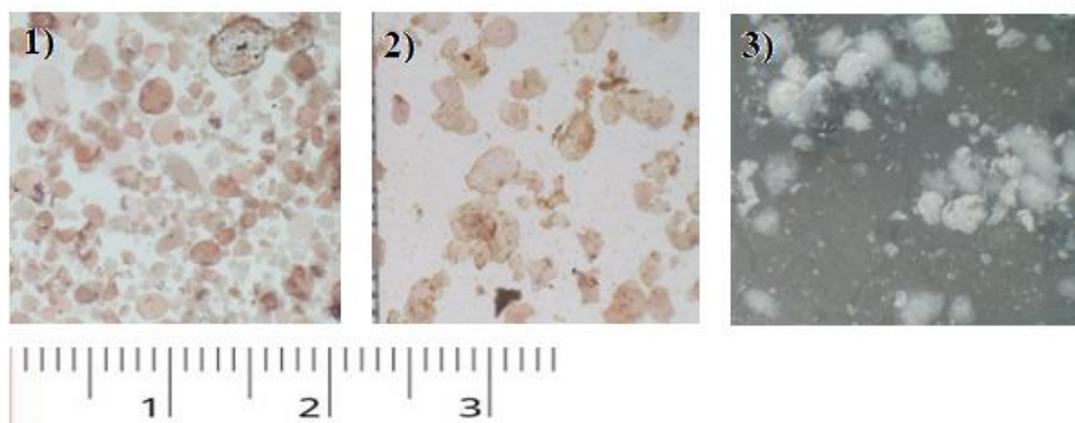
В случае, если через ячейку с двумя железными электродами пропускается постоянный ток от источника постоянного тока силой 0.7 А с напряжением 8 вольт, в системе происходит видимое изменение цвета. Сначала возникает желтая окраска, а затем – зелено-черная. При этом выпадает осадок почти черного цвета. Предполагается, что кратковременное желтое окрашивание раствора происходит за счет частиц окиси железа, образующихся при окислении двухвалентного железа кислородом воздуха. При дальнейшем протекании электролиза, вероятно, образуются смешанные окислы и соли железа различной валентности, придающие осадку темный цвет. Электролиз на постоянном токе с железными электродами одновременно с растворением в электролите реагента «Темпоскрин-Плюс» приводит к налипанию гелевых частиц на катоде и образованию гелевых частиц, цветом и размером близких к частицам, полученных в

промысловом эксперименте. Налипание гелей на катоде связывается с высоким рН вблизи катода и разбуханием частиц при этом значении рН. Из полученных результатов было сделано предположение, что изменение свойств гелей в процессе приготовления ПГС путем использования смесительной емкости с электродвигателем происходит преимущественно за счет воздействия на ПГС и воду постоянного тока с образованием ионов трехвалентного железа.

В дальнейшем, учитывая более значительное влияние постоянного тока на электролиз изучаемой системы, проведено модельное приготовление ПГС «Темпоскрин-Плюс» аналогично приготовлению ПГС в промысловых условиях, дополненное одновременной обработкой этой системы постоянным электрическим током с железными электродами следующим образом.

К 100 мл пластовой воды (модель) с минерализацией 30 г/л добавлен 1% 30%-ой соляной кислоты. В результате рН системы стал равен рН=1. Далее образец воды был нагрет до температуры 70 градусов, что соответствовало температуре воды в системе поддержания пластового давления в промысловом эксперименте. Затем в образец помещалась электродная система из двух железных электродов, и к ним подавалось напряжение 12 вольт. После этого при перемешивании к раствору было добавлено 2% реагента «Темпоскрин-Плюс» и в течение 30 минут производилось перемешивание. В результате была получена ПГС – по внешнему виду, цвету и размерам гелевых частиц аналогичная системе, приготовленной в промысловых условиях. Это видно из микрофотографий обеих систем, приведенных на рис. 4. Для сравнения приведена фотография ПГС, приготовленная стандартным способом. Кроме того, рН этой системы оказался более высоким и близким к 6.

Проделанная работа позволила сделать вывод, что процессы электрохимической коррозии технологического оборудования могут оказывать существенное влияние на свойства системы. Вместе с тем показано, что воздействие фактора электричества на свойства системы «Темпоскрин-Плюс» не изменяет ее дисперсный характер, но вариацию объема гелей следует учитывать при расчете объемов закачки полимерно-гелевой системы в продуктивный пласт. Представляется полезным также при использовании смесителей с электрическим приводом проводить предварительное тестирование процесса перемешивания с одновременным контролем содержания общего железа до и после смесительного цикла.



**Рис. 4.** Фотографии ПГС, приготовленных различными способами: 1 – при опытно-промышленных работах; 2 – в лабораторной электрохимической ячейке; 3 – в лаборатории без воздействия электрическим током

### Выводы

Применение смесительного оборудования с электрическим приводом может сопровождаться параллельными процессами электролитической коррозии промышленного оборудования. Соответствующие процессы оказывают влияние на конечные свойства приготавливаемой смеси, что необходимо учитывать при расчете объемов закачки ПГС «Темпоскрин-Плюс».

*Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности (фундаментальные, поисковые и прикладные исследования)», № АААА-А19-119013190038-2) совместно с ООО НТФ «Атомбиотех».*

### Литература

1. Каушанский Д.А., В.Б. Демьяновский В.Б., Н.Р. Бакиров Н.Р., С.П. Боряев С.П., Д.П. Щербаков Д.П., А.Р. Шаймарданов А.Р. Результаты опытно-промышленных испытаний технологии «Темпоскрин-Плюс» для ограничения водопритока в добывающих скважинах ООО «РН-Пурнефтегаз // Нефтяное хозяйство. 2019. № 6. С. 78–82.
2. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. 2-е изд. М.: Химия, Колос, 2006. 672 с.
3. Харин А.Н., Катаева Н.А., Харина Л.Т. Курс химии: Учебное пособие для нехимических специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1975. 416 с.

## The impact of electrochemical corrosion of technological equipment on water shut-off workovers at producers with Temposcreen-Plus polymer-gel system

V.B. Demyanovskiy<sup>1,2\*</sup>, N.R. Bakirov<sup>1,2\*\*</sup>, A.V. Pegov<sup>3\*\*\*</sup>

1 – Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow;

2 – Research and Technology Company Atombiotech LLC, Moscow;

3 – GEOS LLC, Nefteyugansk

E-mail: \*demian20@yandex.ru, \*\*niyazzayin1994@gmail.com, \*\*\*a.pegov@mail.ru

**Abstract.** At oil fields, while carrying out various workovers, such as isolation squeeze and water shut-off, various mixing facilities are required, electric mixers among them. In this paper, we study the possibility of electrolytic corrosion in mixing units with an electric motor, and the impact of electrolytic corrosion on the preparation process and final properties of polymer-gel systems. Corresponding results of laboratory surveying of the effect of electrochemical processes on the properties of polymer-gel systems are presented.

**Keywords:** electrochemical corrosion, water inflow limitation, Temposcreen-Plus, electrolysis, polymer-gel system.

**Citation:** Demyanovskiy V.B., Bakirov N.R., Pegov A.V. The impact of electrochemical corrosion of technological equipment on water shut-off workovers at producers with Temposcreen-Plus polymer-gel system // Actual Problems of Oil and Gas. 2019. Iss. 3(26). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-26.art...> (In Russ.)

### References

1. Kaushanskiy D.A., Demyanovskiy V.B., Bakirov N.R., Baryaev S.P., Sherbakov D.P., Shaimardanov A.R. Field trial results of water shut-off in oil producing wells using the Temposcreen-Plus technology in RN-Purneftegas LLC // Neftyanoe Khozyaystvo – Oil Industry. 2019. No. 6, P. 78–82. (In Russ.).
2. Damaskin B.B., Petri O.A., Tsirlina G.A. Electrochemistry. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow: Khimiya, Kolos, 2006. 672 p. (In Russ.).
3. Kharin A.N., Kataeva N.A., Harina L.T. Chemistry: a course. Textbook for non-chemical specialties of universities. Moscow: Vysshaya Shkola, 1975. 416 p. (In Russ.).