

УДК 622.692.4.076:620.193.4

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ БИОЗАРАЖЕНИЯ ПЛАСТОВЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕДОБЫЧИ

Ахияров Р.Ж., Матвеев Ю.Г., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е.<sup>1</sup>

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа*

<sup>1</sup> *e-mail: debugai@mail.ru*

**Аннотация.** В статье приведены результаты разработки ресурсосберегающих средств и методов подавления жизнедеятельности бактерий в технологических жидкостях предприятий нефтедобычи. В качестве средства борьбы с планктонными видами сульфатвосстанавливающих бактерий разработана установка для магнитогидродинамической обработки пластовой воды, в которой происходит одновременное воздействие на клетки бактерий центробежной силы и индуцируемых в магнитном поле электрических токов. Разработаны методы расчета и конструирования устройств, проведены лабораторные и натурные испытания, показавшие полное подавление жизнедеятельности планктонных клеток анаэробных бактерий. Для подавления жизнедеятельности адгезированных форм сульфатвосстанавливающих бактерий разработана система магнитогидродинамической обработки пластовой воды с одновременным дозированием ионов кальция, что приводит к связыванию ионов сульфата в малорастворимые ионы сульфата кальция. Это приводит к снижению концентрации сульфат-ионов ниже 0,05 % масс. и, соответственно, к подавлению жизнедеятельности адгезированных бактерий. Разработаны методы расчета и конструирования биоцидных устройств, проведены лабораторные и натурные испытания, показавшие снижение количества поражений от биокоррозии на порядок.

**Ключевые слова:** ресурсосбережение, сульфатвосстанавливающие бактерии, подавление жизнедеятельности бактерий, магнитогидродинамическая обработка, коррозия, пластовая вода, кристаллы сульфата кальция, добыча нефти, увеличение срока службы оборудования нефтедобычи

Добыча нефти связана с сопутствующими осложнениями, такими как развитие в пласте анаэробных бактерий, вызывающих выделение сероводорода, что снижает рН технологических жидкостей. Находящиеся в пласте и сцепленные с оборудованием адгезированные формы бактерий приводят к усилению локальных коррозионных процессов, наводороживанию и охрупчиванию стали. Дрейфующие с потоками технологических жидкостей планктонные формы бактерий приводят к заражению всей системы нефтедобычи. Усиление коррозии в присутствии сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ) приводит к образованию сульфидных пленок и увеличению объема тонкодисперсных механических примесей. Примеси способствуют значительному усилению процесса эмульсиеобразования.

Таким образом, биозаражение нефтяных промыслов является наиболее актуальной проблемой, для решения которой необходимо подавить жизнедеятельность не только адгезированных, но и планктонных форм СВБ.

Наиболее распространенным способом решения проблем осложнений при добыче нефти является использование химических методов подготовки технологических жидкостей, которые связаны с применением на всех стадиях подготовки сложных и, как правило, дорогостоящих реагентов: бактерицидов, ингибиторов коррозии и солеотложения.

Ранее было установлено [1 - 4], что магнитогидродинамическая обработка (МГДО) технологических жидкостей позволяет целенаправленно перераспределять ионы в объеме флюидов и, тем самым, изменять рН электролита в локальных объемах потока. Жизнедеятельность бактерий возможна только при значениях рН 4-9, и снижение рН ниже 4 приводит к гибели клеток бактерий. Одновременное воздействие постоянного магнитного поля и сил гравитации создает в пристеночном слое технологических жидкостей условия для протонирования мембранных оболочек бактерий, что позволяет негативно воздействовать на их жизнедеятельность.

Отсюда следует, что особенности подготовки технологических жидкостей на нефтедобывающих предприятиях, осуществляемой с помощью МГДО, относятся к категории ресурсосберегающих технологий, поскольку связаны с манипулированием микрочастицами в нанослоях флюидов с образованием необходимых структур без применения внешних источников энергии, с использованием энергии потока и постоянных магнитов.

Создание новых технологий повышения эффективности процессов подготовки водонефтяных сред, а также устройств для их комплексной обработки представляется важной научно-технической проблемой, решение которой позволит снизить затраты на подготовку и транспортировку нефти, а также повысить безопасность и энергоэффективность эксплуатации трубопроводов и оборудования.

### **Подавление жизнедеятельности планктонных форм бактерий**

Оценку эффективности воздействия МГДО на жизнедеятельность бактерий осуществляли в ходе визуального наблюдения с помощью микроскопа «Биолам» ( $\times 2000$ ), а также с привлечением известных методов количественной оценки: метода предельных разведений (ОСТ 39-151-83) и метода тест-контроля количества бактерий в среде.

### **Экспериментальная часть**

При движении среды, содержащей гидроксил-ионы, в магнитном поле индуцируется электрический ток. Его носителями являются гидратированные ионы, на которые действует сила Лоренца. Выбирая определенное расположение вектора магнитной индукции относительно вектора скорости потока среды, можно целенаправленно воздействовать на ионы и перераспределять их в объеме среды так, как это требуется в каждом конкретном случае.

Для того чтобы вызвать изменение pH внутри объема перекачиваемой среды вблизи стенок устройства в зазорах бактерицидного аппарата необходимо задать такое направление индукции магнитного поля, при котором около стенок устройства индуцированным электрическим полем создается максимальная концентрация положительно заряженных ионов. С этой целью источники магнитного поля (ИМП) в устройстве располагаются разноименными полюсами навстречу друг другу (рис. 1) [5 - 8].

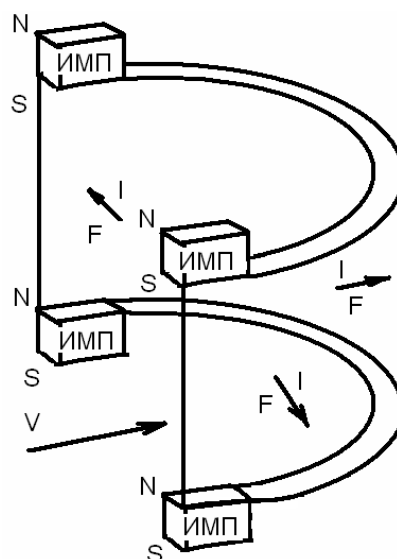


Рис. 1. Схема расположения ИМП, линий магнитной индукции, направления потока и векторов силы Лоренца

Магнитное поле воздействует на закрученный поток оборотных и сточных вод, причем градиент концентрации ионов гидроксония и клеток бактерий создается так, чтобы одновременно повысить их концентрацию в одном локальном слое.

Взаимное расположение вектора магнитной индукции и вектора скорости потока технологической жидкости таково, что индуцируемое электрическое поле перемещает ионы гидроксония в том же направлении, что и клетки бактерий, которые движутся под воздействием центробежной силы в закрученном гидроциклоном потоке жидкости.

С целью практического обоснования изложенных соображений проведены исследования, первым этапом которых была подготовка модельной среды, имитирующей реальные воды нефтяных промыслов.

В табл. 1 приведены результаты исследования жизнеспособности СВБ после проведения МГДО в течение 5 минут и без нее. Видно, что после МГДО клетки СВБ не выросли, а без обработки количество клеток достигло  $10^7$  кл/мл.

Таблица 1. Влияние МГДО на жизнеспособность СВБ

Номер флакона, в котором отмечен рост бактерий	Без МГДО	После МГДО
1	+	–
2	+	–
3	+	–
4	+	–
5	+	–
6	+	–
7	+	–
8	–	–

Таким образом, применение МГДО потока с входящей скоростью 1 м/с при величине магнитной индукции 0,1 Тл полностью подавляет жизнеспособность СВБ.

Методика оценки эффективности снижения концентрации сульфатов в воде с целью подавления жизнедеятельности СВБ не может быть основана на выращивании культур в питательных средах, так как перед обработкой ставится обратная задача – сделать среду обитания бактерий несовместимой с их жизнью. Поэтому в данном исследовании был использован опосредованный показатель – скорость общей коррозии образцов трубной стали после добавления солей кальция и проведения МГДО.

Результаты проведенных испытаний стали 20 в пластовой воде приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний стали 20 в пластовой воде с СВБ после удаления сульфатов

Наименование	Концентрация растворённых сульфатов, г/л	Скорость коррозии, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	Степень защиты, %
Без удаления сульфатов	2,00	2,3880	–
1 каскад МГДО	0,74	2,0120	15,7
2 каскада МГДО	0,44	1,6750	29,8
3 каскада МГДО	0,25	1,2250	48,7
4 каскада МГДО	0,17	0,8250	65,4
5 каскадов МГДО	0,11	0,4700	80,3

Из табл. 2 видно, что с увеличением количества каскадов МГДО скорость общей коррозии стали 20 существенно снижается.

Также существенную роль играет продолжительность МГДО. Количество жизнеспособных клеток СВБ определяли при проведении МГДО среды, содержащей СВБ, в течение 1, 2, 5 и 10 минут (рис. 2).



Рис. 2. Зависимость жизнеспособности клеток СВБ от времени при индуцировании в бактерицидном устройстве тока величиной 10 мкА

Из рис. 2 следует, что минимальное время обработки среды для подавления всех жизнеспособных клеток составляет около 3 мин при использовании магнитов диаметром 5 мм и высотой 3 мм.

Таким образом, используя подобное устройство, можно полностью подавлять жизнедеятельность планктонных форм СВБ, предотвращать перенос бактерий и заражение ими трубопроводов и оборудования нефтяных промыслов. При этом исключается применение дорогостоящих, опасных для человека и других живых организмов реагентов (бактерицидов), значительно увеличивается энергоэффективность процесса обработки потоков нефтяных сред.

### **Подавление жизнедеятельности адгезированных форм бактерий**

Исследования по подавлению жизнедеятельности СВБ показали, что использование бактерицидной установки для воздействия на планктонные бактерии приводит к полному исчезновению СВБ. Однако проблема подавления жизнедеятельности адгезированных форм бактерий, образующих колонии на стенках трубопроводов и оборудования, остается открытой. Известно, что СВБ поддерживают жизнедеятельность за счет анаэробного дыхания, для которого они используют кислород сульфат-ионов. Другими словами, при отсутствии в среде сульфат-

ионов, СВБ с концентрацией ниже 0,05 - 0,1 % масс. существовать не могут [9 - 10].

Использование магнитного поля для удаления сульфат-ионов из среды основано на следующем принципе: наряду с кристаллизацией в зазоре устройства для МГДО, обуславливающей появление большого числа центров кристаллизации в воде, используют дополнительное дозирование растворов солей, содержащих катионы  $\text{Ca}^{2+}$  (например, хлорид кальция).

Провоцирование кристаллообразования приводит к тому, что в дальнейшем вместо гидратированных сульфат-ионов и отложения солей на поверхности оборудования, в объёме раствора образуется взвесь сульфатов. Сформировавшиеся кристаллы сульфатов становятся недоступными для биогенной сульфатредукции.

Хорошо растворимые соли (хлориды, некоторые сульфаты, фосфаты и гидрокарбонаты) не способны выпадать в ходе проведения обработки, несмотря на локализацию в зоне с нулевой магнитной индукцией. Поэтому для полного удаления из промышленных вод анионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , наличие которых поддерживает жизнедеятельность СВБ, необходима высокая концентрация противоионов, которые могут связывать растворенные сульфат-ионы в малорастворимые соли.

На первом этапе исследований было изучено воздействие переменного магнитного поля на неподвижные растворы сульфата кальция. Полученные данные свидетельствуют о том, что в результате проведения МГДО наблюдается быстрое снижение концентрации  $\text{CaSO}_4$  в обработанной пластовой воде. Увеличение продолжительности воздействия до 5 с приводит к уменьшению содержания кальция до 100 г/т (или 0,024 % масс. сульфатов) и ниже. При этом даже если исходная концентрация ионов была далека от насыщения, снижение содержания растворенной соли все равно имеет место.

Развитие СВБ невозможно при концентрации сульфатов до 0,05 - 0,10 % масс. Это соответствует присутствию в растворе противоионов кальция в количестве 213 - 17 г/т. Следовательно, благодаря большой скорости осаждения гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (сульфат кальция выпадает в виде именно такого кристаллогидрата), он может быть высажен с помощью МГДО и выведен из водной среды путем отстаивания или фильтрации. В этом случае концентрация сульфатов значительно ниже границ интервала, в котором возможно развитие СВБ (рис. 3).

Прямой контроль остаточного содержания сульфатов в испытанной пластовой воде проводили гравиметрически.

Методика оценки эффективности снижения концентрации сульфатов в воде с целью подавления жизнедеятельности СВБ не может быть основана на выращивании культур в питательных средах, так как перед обработкой ставится обратная задача – сделать среду обитания бактерий несовместимой с их жизнью. Поэтому в

данном исследовании был использован опосредованный показатель – скорость общей и локальной коррозии образцов трубной стали после добавления солей кальция и проведения МГДО.

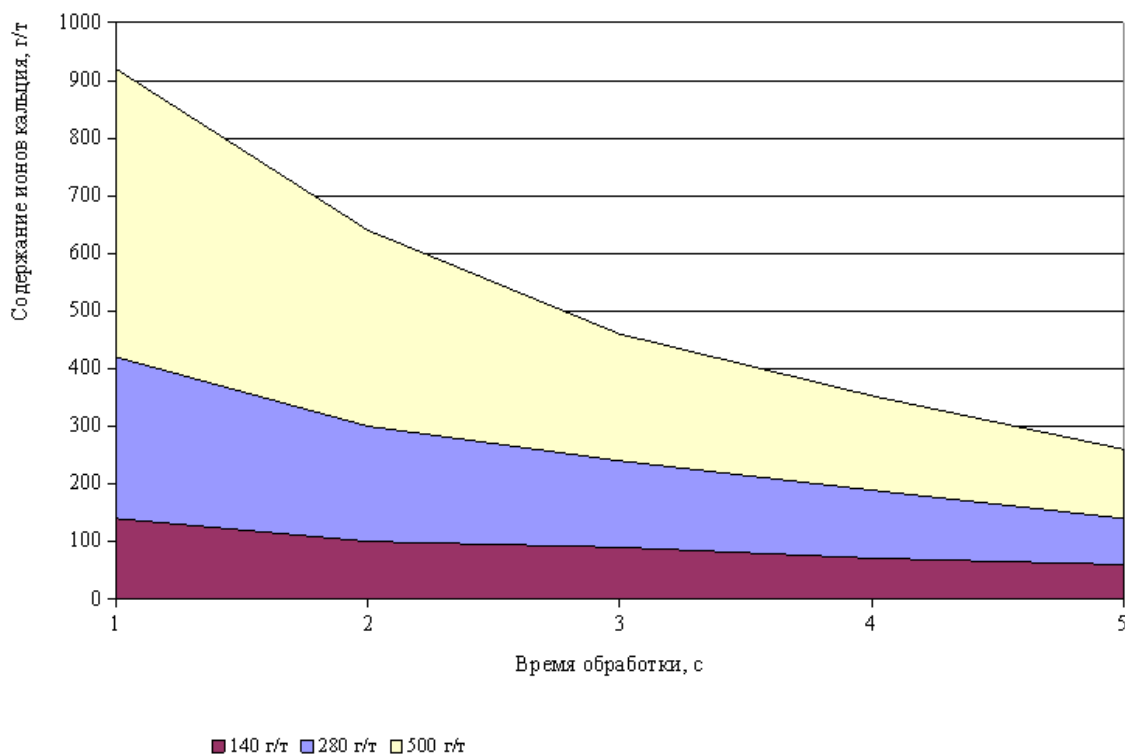


Рис. 3. Зависимость содержания ионов  $\text{Ca}^{2+}$  от времени обработки при их различной начальной концентрации

Для предотвращения жизнедеятельности адгезированных форм СВБ необходимо проведение следующих мероприятий:

- определение ионного состава минерализованной воды;
- расчет и изготовление устройства для МГДО и экспериментальное определение количества ионов, выпавших в виде кристаллической фазы, то есть процент обессоливания воды по сульфат-ионам. Расчет реального мольного соотношения катионов и анионов, а также теоретического – для определения количества дополнительно дозируемых катионов кальция, необходимых для полного удаления растворенных сульфат-ионов из жидкости;
- разработка системы для удаления сульфат-ионов, которая включает дозировочное устройство для подачи раствора соли кальция, устройство для проведения МГДО, сепаратор или гидроциклон для удаления кристаллов сульфатов, прибор для определения количества сульфат-ионов после сепаратора и корректировки объема подаваемого реагента.

Расчет необходимого количества дозируемой соли кальция производится исходя из найденных в лаборатории начальных условий для обрабатываемой

воды мольных концентраций ионов  $C_{Ca^{2+}}$ ,  $C_{SO_4^{2-}}$ ,  $C_{Mg^{2+}}$ ,  $C_{HCO_3^-}$ . Концентрация добавляемого реагента (хлорида кальция) составляет  $C_{CaCl_2} = C_{Ca^{2+}} + C_{SO_4^{2-}}$ .

При проектировании системы удаления сульфатов необходимо учитывать, что кристаллы солей размером менее 20 мкм не осаждаются на стенке трубопровода при скорости потока более 0,466 м/с [11].

Устройства для МГДО основаны на принципе принудительного переноса индуцируемым электрическим полем ионов разного знака в различные области объема обрабатываемой среды, что в значительной степени изменяет ее свойства. Таким образом, эти устройства позволяют осуществлять технологии, заключающиеся в манипулировании частицами среды с целью их локализации в определенных ее слоях, что дает возможность управлять свойствами данной среды.

Попытки унифицировать устройства для МГДО, то есть использовать одно и то же устройство для достижения двух или более эффектов, например, совместить в одном устройстве удаление солей и бактерицидную обработку сред, показали, что это снижает их экономическую эффективность. Возникает слишком большой перепад давления перекачиваемого потока, и повышение мощности насосов приводит к значительному увеличению стоимости обработки.

На практике для осуществления МГДО промышленных сред необходимо рассчитать и изготовить устройство, которое имело бы высокую эффективность в рассматриваемых условиях [12 - 13].

В результате проведенных исследований и расчетов был сконструирован гидроциклон с магнитной вставкой для подавления жизнедеятельности планктонных форм СВБ [14], а также очистки оборотной воды от механических примесей.

Конструкция гидроциклона представлена на рис. 4. Все металлические детали конструкции выполнены из нержавеющей стали аустенитного класса.

С целью разработки устройства для удаления из среды сульфатов и предотвращения жизнедеятельности адгезированных форм СВБ была принята схема, изображенная на рис. 5.

Лабораторные эксперименты по определению влияния МГДО на снижение концентрации сульфатов в среде в условиях дозирования раствора хлорида кальция показали высокую эффективность разработанного метода в отношении адгезированных форм СВБ. Так, при скорости модельного концентрированного раствора сульфата кальция 1 м/с эффективность МГДО составляла в среднем 40 % на одну ступень. Обработанный раствор отгоняли на центрифуге и определяли содержание в нем сульфат-ионов.

Было показано, что 4-5-каскадная МГДО промышленной воды в условиях дозирования расчетных концентраций ионов кальция дает возможность уменьшить количество сульфат-ионов до 0,05 % масс. и ниже, что позволяет полностью подавить жизнедеятельность адгезированных форм СВБ. В частности, было изготовлено устройство для МГДО и апробировано на промышленных средах НГДУ



«Уфанефть» с целью подавления жизнедеятельности СВБ. Промысловые испытания показали, что количество жизнеспособных клеток в обработанной среде уменьшилось с  $10^6$  кл/мл до следовых значений.

Учитывая существующие различия в значениях плотности выпадающих солей и обрабатываемой среды, для разделения образующихся суспензий было предложено использовать их отстаивание в сепараторах, разделение в гидроциклонах или фильтрах.

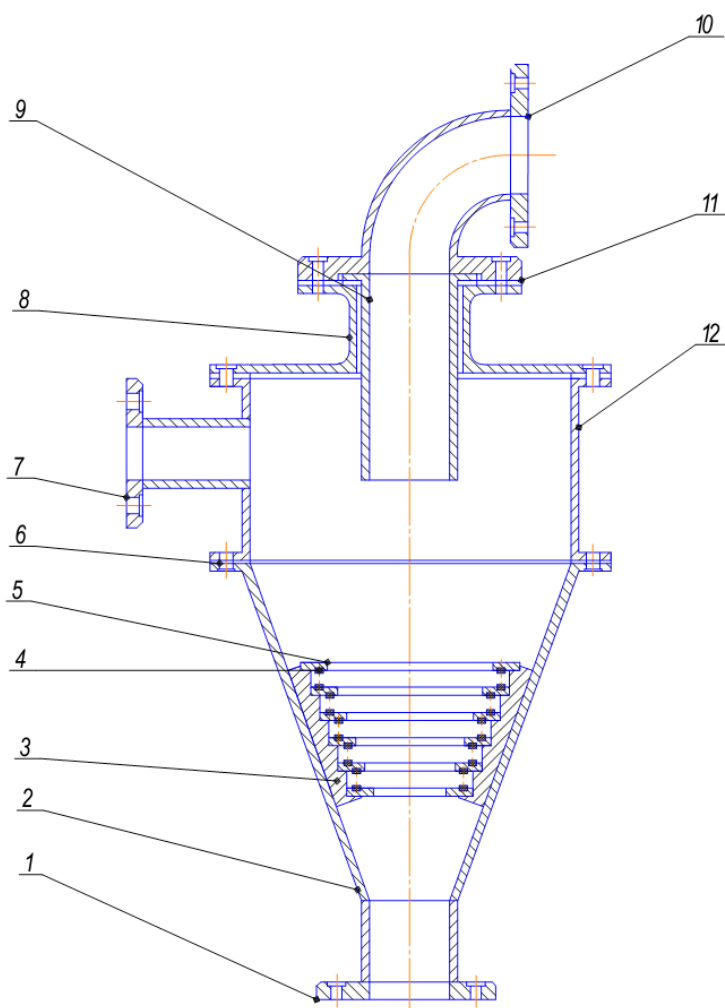


Рис. 4. Устройство для проведения антибактериальной МГДО промышленных сред и удаления механических примесей:

- 1 – фланец для слива шлама; 2 – коническая часть для ускорения движения потока;
- 3 – уголок для крепления колец с магнитами; 4 – магнит постоянный; 5 – кольцо;
- 6 – фланцевое соединение частей гидроциклона; 7 – фланец для подачи среды;
- 8 – литая крышка гидроциклона; 9 – вставной патрубок для очищенной среды;
- 10 – колено-фланец для слива очищенной среды; 11 – прокладка резиновая уплотнительная; 12 – цилиндрическая часть гидроциклона

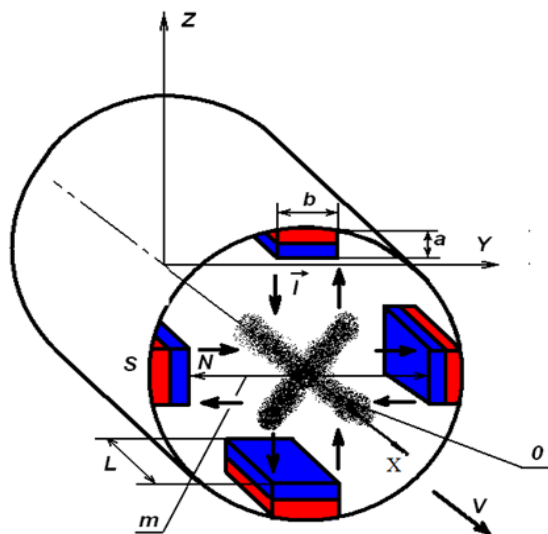


Рис. 5. Расчетная схема однокаскадного устройства для проведения МГДО промышленных сред:  
 $a$ ,  $b$  и  $L$  – размеры ИМП;  $m$  – расстояние между ИМП;  
 векторы  $I$  и  $V$  – направления индуцируемого тока и скорости потока соответственно;  
 $0$  – зона с нулевым значением магнитной индукции

Использование технологии, включающей дозирование в среду хлорида кальция и проведение ее МГДО с последующим фильтрованием, позволяет полностью исключить рост СВБ в системе промышленных трубопроводов и, тем самым, значительно повысить безопасность эксплуатации объектов нефтяных промыслов. Внедрение данной технологии дает возможность также отказаться от использования весьма токсичных и дорогостоящих реагентов – бактерицидов [15].

### Литература

1. Ахияров Р.Ж., Лаптев А.Б., Навалихин Г.П., Бугай Д.Е. Снижение коррозионной активности водной фазы промышленных сред путем их магнетогидродинамической обработки // Башкирский химический журнал. 2006. Том 13, № 1. С. 23 - 25.
2. Ахияров Р.Ж., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Магнитный сепаратор для снижения эрозионного и коррозионного износа внутренней поверхности оборудования и трубопроводов // Материалы международной научно-технической конференции «Геотехнические и эксплуатационные проблемы нефтегазовой отрасли». Тюмень: ТюмГНГУ. 2007. С. 197 - 200.
3. Ахияров Р.Ж., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Магнетогидродинамический сепаратор для снижения минерализации оборотных и сточных вод // Материалы международной научно-технической конференции «Геотехнические и эксплуатационные проблемы нефтегазовой отрасли». Тюмень: ТюмГНГУ. 2007. С. 201 - 204.

4. Ахияров Р.Ж., Бугай Д.Е., Лаптев А.Б. Проблемы подготовки оборотных и сточных вод предприятий нефтедобычи // Нефтепромысловое дело. 2008. № 9. С. 59 - 61.

5. Ахияров Р.Ж. Практическое использование аппаратов магнитогидродинамической обработки для повышения эффективности ингибиторов коррозии // Нефтепромысловое дело. 2008. № 9. С. 61 - 65.

6. Ахияров Р.Ж., Лаптев А.Б., Ибрагимов И.Г. Повышение безопасности эксплуатации объектов нефтедобычи при биозаражении и выпадении солей методом комплексной обработки пластовой воды // Нефтепромысловое дело. 2009. № 3 (77). С. 44 - 46.

7. Ахияров Р.Ж., Ибрагимов И.Г., Латыпов О.Р., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е., Алаев А.А. Оценка экономической эффективности комплексной подготовки воды на предприятиях нефтедобычи // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2008. № 2 (76). С. 58 - 64.

8. Ахияров Р.Ж., Гоголев Д.А., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Применение магнитогидродинамической обработки для повышения эффективности ингибиторов коррозии в водных растворах солей // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13, № 4. С. 16 -17.

9. Ахияров Р.Ж., Гоголев Д.А., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Влияние режимов магнитогидродинамической обработки на ингибирующую способность алкилимидазолинов // Башкирский химический журнал. 2006. Том 13. № 4. С. 48 - 49.

10. Ахияров Р.Ж., Гоголев Д.А., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Повышение эффективности деэмульсации водонефтяных сред путем их магнитогидродинамической обработки // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2006. № 2. 6 с. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Akhiyarov/Akhiyarov\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Akhiyarov/Akhiyarov_1.pdf)

11. Душкин С.С., Евстратов В.Н. Магнитная водоподготовка на химических предприятиях. М.: Химия, 1986. 144 с.

12. Николаев О.А., Ахияров Р.Ж., Ибрагимов И.Г., Латыпов О.Р., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Лабораторный стенд для изучения влияния магнитогидродинамической обработки на микробиологическую коррозию стали // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2008. № 74. С. 98 - 102.

13. Ахияров Р.Ж., Николаев О.А., Черепашкин С.Е., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Расчет устройств для магнитогидродинамической обработки, применяемых с целью снижения сульфатредукции бактерий в пластовых водах // Нефтегазовое дело. 2008. Том 6. № 2. С. 204 - 209. URL: <http://www.ngdelo.ru/2008/2/204-209.pdf>

14. Патент РФ № 2376247. Способ антибактериальной обработки потока жидкой среды и устройство для его осуществления / Лаптев А.Б., Ахияров Р.Ж., Абдуллин И.Г., Бугай Д.Е., Латыпов О.Р. Опубликовано 20.12.2009. Бюл. 35.

15. Dmitry Bugay, Rustem Akhiyarov, Anatoly Laptev. Nanotechnologies fighting against corrosion and other complications in extraction and transportation of water-cut oil // EUROCORR-2010. The European Corrosion Congress. 13-17 September 2010. Book of abstracts. М.: МАКС Пресс., 2010. С. 405.

## SAVING TECHNOLOGIES TO PREVENT PRODUCED WATER INFECTION BY BACTERIA AT OIL ENTERPRISES

R.Zh. Akhiyarov, Y.G. Matveev, A.B. Laptev, D.E. Bugay<sup>1</sup>

*Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia*

<sup>1</sup> *e-mail: debugai@mail.ru*

**Abstract.** *The results of the development of energy-efficient means and methods for suppressing activity of bacteria in the process liquids at the oil production. As a means to control planktonic sulfate-reducing bacteria species was developed a device for a magneto hydrodynamic treatment the produced water. Device provide simultaneous effect on bacterial cells by the centrifugal force and electric currents induced in magnetic field. There have been laboratory and field tests, which showed complete inhibition of activity of planktonic cells of anaerobic bacteria. The methods of calculation and design of device were developed. To suppress the activity adhered forms of sulfate-reducing bacteria has developed a system of magneto hydrodynamic treatment of produced water with simultaneous dosing of calcium ions, which leads to the binding of sulfate ions in the soluble ions of calcium sulfate. This leads to a decrease in the concentration of sulfate ions below 0.05 per cent by weight. And, consequently, to suppress the activity of bacteria adhered. The methods of calculation and design of biocide devices, conducted laboratory and field tests showed a reduction in the number of corrosive lesions of bio corrosion ten times.*

**Keywords:** *saving, energy efficiency, sulfate-reducing bacteria, suppressing activity of bacteria, magneto hydrodynamic treatment, corrosion, formation water, crystals of calcium sulfate, crude oil, increase in oil production equipment life*

### References

1. Akhiyarov R.Zh., Laptev A.B., Navalikhin G.P., Bugai D.E. Snizhenie korrozionnoi aktivnosti vodnoi fazy promyslovykh sred putem ikh magnito-gidrodinamicheskoi obrabotki (Decrease of corrosion activity of a water phase of process fluids by magnetohydrodynamic processing), *Bashkirskii khimicheskii zhurnal*, 2006, Vol. 13, Issue 1, pp. 23 - 25.

2. Akhiyarov R.Zh., Laptev A.B., Bugai D.E. Magnitnyi separator dlya snizheniya erozionnogo i korrozionnogo iznosa vnutrennei poverkhnosti oborudovaniya i truboprovodov (Magnetic separator to reduce erosion and corrosion wear of the inner surface of equipment and pipelines), *Materialy mezhd. nauch.-tekh. konf. «Geotekhnicheskii i ekspluatatsionnye problemy neftegazovoi otrasli» (Proceedings of the International Scientific Conference "Geotechnical and operational problems oil and gas industry")*. Tyumen, TyumGNGU. 2007. PP. 197 - 200.

3. Akhiyarov R.Zh., Laptev A.B., Bugai D.E. Magnitogidrodinamicheskii separator dlya snizheniya mineralizatsii oborotnykh i stochnykh vod (Magnetohydrodynamic separator to reduce mineralization of recirculated and waste water), *Materialy*

mezhd. nauch.-tekh. konf. «Geotekhnicheskie i ekspluatatsionnye problemy neftegazovoi otrasli» (Proceedings of the International Scientific Conference "Geotechnical and operational problems oil and gas industry"). Tyumen, TyumGNGU. 2007. PP. 201 - 204.

4. Akhiyarov R.Zh., Bugai D.E., Laptev A.B. Problemy podgotovki oborotnykh i stochnykh vod predpriyatii neftedobychi (The problems of preparing circulating and waste waters in oil production), *Neftepromyslovoe delo*, 2008, Issue 9, pp. 59 - 61.

5. Akhiyarov R.Zh. Prakticheskoe ispol'zovanie apparatov magnitogidrodinamicheskoi obrabotki dlya povysheniya effektivnosti ingibitorov korrozii (Practical use of magnetohydrodynamic treatment devices to improve efficiency of corrosion inhibitors), *Neftepromyslovoe delo*, 2008, Issue 9, pp. 61 - 65.

6. Akhiyarov R.Zh., Laptev A.B., Ibragimov I.G. Povyszenie bezopasnosti ekspluatatsii ob"ektov neftedobychi pri biozarazhenii i vypadenii solei metodom kompleksnoi obrabotki plastovoi vody (The use integrated treatment of reservoir water for improving operational safety at oil production facilities during biological contamination and salting-up), *Neftepromyslovoe delo*, 2009, Issue 3, pp. 44 - 46.

7. Akhiyarov R.Zh., Ibragimov I.G., Latypov O.R., Laptev A.B., Bugai D.E., Alaev A.A. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti kompleksnoi podgotovki vody na predpriyatiyakh neftedobychi (Assessment of economic efficiency of complex water treatment at oil producing enterprises), *Problems of gathering, treatment and transportation of oil and oil products*, 2009, Issue 2 (76), pp. 58 - 64.

8. Akhiyarov R.Zh., Gogolev D.A., Laptev A.B., Bugai D.E. Primenenie magnitogidrodinamicheskoi obrabotki dlya povysheniya effektivnosti ingibitorov korrozii v vodnykh rastvorakh solei (The use of magnetohydrodynamic treatment to improve efficiency of corrosion inhibitors in the water salt solutions), *Bashkirskii khimicheskii zhurnal*, 2006, Vol. 13, Issue 4, pp. 16 -17.

9. Akhiyarov R.Zh., Gogolev D.A., Laptev A.B., Bugai D.E. Vliyanie rezhimov magnitogidrodinamicheskoi obrabotki na ingibiruyushchuyu sposobnost' alki-limidazolinov (Effect of magnetohydrodynamic treatment on the inhibition ability of alkylimideazolines), *Bashkirskii khimicheskii zhurnal*, 2006, Vol. 13, Issue 4, pp. 48 - 49.

10. Akhiyarov R.Zh., Gogolev D.A., Laptev A.B., Bugai D.E. Povyszenie effektivnosti deemul'satsii vodoneftnykh sred putem ikh magnitogidrodinamicheskoi obrabotki (Increase of demulsification efficiency of oil-in-water emulsions by means of their magnetohydrodynamic treatment). *Electronic scientific journal "Neftegazovoe delo - Oil and Gas Business"*, 2006, Issue 2, 6 p.

URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Akhiyarov/Akhiyarov\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Akhiyarov/Akhiyarov_1.pdf)

11. Dushkin S.S., Evstratov V.N. Magnitnaya vodopodgotovka na khimicheskikh predpriyatiyakh (Magnetic water treatment at chemical plants). Moscow: Khimiya, 1986. 144 p.

12. Nikolaev O.A., Akhiyarov R.Zh., Ibragimov I.G., Latypov O.R., Laptev A.B., Bugai D.E. Laboratornyi stend dlya izucheniya vliyaniya magnitogidrodinamicheskoi obrabotki na mikrobiologicheskuyu korroziyu stali (Laboratory installation for

investigation of MGDT influence upon microbiological corrosion of steel), *Problems of gathering, treatment and transportation of oil and oil products*, 2008, Issue 4 (74), pp. 98 - 102.

13. Akhiyarov R.Zh., Nikolaev O.A., Cherepashkin S.E., Laptev A.B., Bugai D.E. Raschet ustroystv dlya magnitogidrodinamicheskoi obrabotki, primenyaemykh s tsel'yu snizheniya sul'fatreduksii bakterii v plastovykh vodakh (The calculation of magnetohydrodynamic treatment devices used to reduce bacterial sulfate reduction in formation waters), *Neftegazovoe delo - Oil and Gas Business*, 2008, Vol. 6, Issue 2, pp. 204 - 209. <http://www.ngdelo.ru/2008/2/204-209.pdf>

14. Patent of Russian Federation № 2376247. Method of antibacterial treatment of stream of liquid medium and device for realising said method. Laptev A.B., Akhiyarov R.Zh., Abdullin I.G., Bugai D.E., Latypov. Publ. 20.12.2009.

15. Dmitry Bugay, Rustem Akhiyarov, Anatoly Laptev. Nanotechnologies fighting against corrosion and other complications in extraction and transportation of water-cut oil. *EUROCORR-2010. The European Corrosion Congress. 13-17 September. 2010. Book of abstracts*. Moscow: MAKS Press, 2010. P. 405.