

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОННЫХ ПРИМЕСЕЙ

А.П. Буденный, Л.А. Ничкова, А.Н. Скаковская, С.А. Гутник

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

E-mail: andry09111@rambler.ru

В статье рассмотрена роль технологии магнитной обработки для очистки сточных вод от ионных примесей. Проведенный анализ существующих моделей и результатов экспериментальных исследований позволил предложить основы нового способа применения магнитного поля для повышения уровня экологической безопасности использования водных ресурсов.

**Ключевые слова:** сточные воды, ионные примеси, магнитная обработка, коагуляция.

**Введение.** Применение экологически безопасных и эффективных технологий для защиты окружающей среды является приоритетным направлением развития современной промышленности. Все чаще сточные воды не сбрасывают в водоемы, а возвращают в производство, что требует усовершенствования технологий их подготовки. При решении такого рода задач преимущество имеют физические методы очистки. Среди современных физических методов водоподготовки перспективной является технология обработки растворов магнитным полем. В настоящее время такую обработку успешно используют во многих отраслях промышленности.

**Материалы и методы.** В работах [1, 2] показан положительный эффект магнитной обработки сточных вод гальванических производств. Обработка магнитным полем позволяет не только интенсифицировать процесс очистки, но и снизить концентрацию органических примесей.

Результаты экспериментальных исследований [1, 2] говорят о том, что магнитная обработка способствует ускорению коагуляции и седиментации дисперсных частиц в водных растворах. Объясняется такое влияние магнитного поля на состояние дисперсных систем снижением дзета-потенциала на поверхностях дисперсных частиц. Согласно теории устойчивости дисперсных систем Дерягина–Ландау–Фервея–Овербека (ДЛФО) это приводит к коагуляции дисперсных частиц и, как следствие, ускорение их седиментации. Причину сни-

жения дзета-потенциала авторы, опираясь на теорию ДЛФО, объясняют протеканием на поверхностях дисперсных частиц процессов адсорбции противоионов. Появление этих процессов инициировано действием силы Лоренца на ионы, которые находятся у поверхности дисперсных частиц.

Проведенный анализ литературных источников показал, что большинство исследований по изучению влияния магнитного поля на состояние дисперсных систем заключается в регистрации изменений течения процессов коагуляции и седиментации дисперсных частиц. Основную роль в достижении таких изменений отводят появлению адсорбции противоионов на их поверхностях. Рассмотрев и выделив этот процесс как отдельный результат воздействия магнитного поля на дисперсные системы, можно успешно использовать его для решения экологических задач.

По нашему мнению, адсорбцию ионов на поверхностях дисперсных частиц под действием магнитного поля, можно применить для снижения концентрации ионных примесей в сточных водах. Такой способ использования магнитного поля направлен на снижение концентрации катионов различных металлов в сточных водах с дисперсными и ионными примесями путем их совместного удаления из водного раствора под действием центробежных сил или сил притяжения.

Для подтверждения этой научной мысли проведен анализ существующих моделей и экспериментальных исследо-

ваний по влиянию магнитного поля на водные растворы с целью обосновать механизм процесса адсорбции ионов дисперсными частицами, а также показать целесообразность и возможность использования магнитного поля для очистки сточных вод от ионных примесей.

В работах [1, 2] рассмотрена кинетика коагуляции и седиментации дисперсных частиц в водных растворах, которые прошли обработку магнитным полем.

Показано, что деформация диффузного слоя под воздействием магнитного поля является условной. В действительности, вследствие броуновского движения и хаотического постепенного вращательного движения частицы в неламинарном потоке, диффузионный слой деформируется по всей ее поверхности, но с меньшей длиной сдвига катионов к ней. Через подобную деформацию концентрация катионов у поверхности частицы существенно растет, что вызывает их адсорбцию на вакантных центрах сорбции (связанных анионов), количество которых на поверхностях частиц достаточно велико. Возникающее при этом электрическое взаимодействие катионов с потенциалосоздающими анионами и адсорбционные силы удерживают катионы в слое Штерна. В связи с этим обратная диффузия катионов существенно затруднена, и катионы, которые поступили из диффузионного слоя, длительное время после обработки магнитным полем остаются в слое Штерна.

В работе [2] авторы предложили модель поверхностной нейтрализации дисперсных частиц, которая происходит благодаря смещению ионов под влиянием магнитного поля с основного объема раствора к поверхности частицы. По мнению авторов, оползни ионов, вызванные действием силы Лоренца, становятся существенными вблизи поверхностей частиц, где они могут вызывать адсорбцию противоионов из слоя Гуи-Чепмена (диффузионного слоя) в слой Штерна. После воздействия магнитного поля слой Гуи-Чепмена будет быстро восстанавливаться вследствие теплового движения противоионов из раствора, а смещенные противоионы в слое Штерна останутся адсорбированными на длитель-

ный период. Ионный сдвиг  $\Delta x$ , обусловленный силой Лоренца и сбалансированный силой вязкости, согласно [1] описывается следующим образом

$$\Delta x = \frac{e}{6\pi\eta} \cdot \frac{z}{r} B\tau v,$$

где  $e$  – заряд электрона;  $z$  – ионная валентность;  $\eta$  – вязкость воды;  $r$  – ионный радиус;  $B$  – индукция магнитного поля;  $\tau$  – время нахождения в магнитном поле;  $v$  – скорость потока.

Величины сдвигов, рассчитанные при условии магнитной обработки  $B \cdot \tau \cdot v = 0,02$  Тс/м, составляют 3,4 нм и 5,3 нм соответственно для ионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ . Это означает, что ионные смещения являются существенными вблизи твердых поверхностей, где они могут адсорбироваться в слое Штерна. Авторы утверждают, что противоионы останутся адсорбированными в течение длительного времени (в зависимости от степени нейтрализации поверхностного заряда частицы).

Таким образом, адсорбция катионов на поверхностях дисперсных частиц сопровождается уменьшением концентрации катионов в дисперсной среде. Именно это и является главным условием разработки нового направления использования магнитного поля для очистки сточных вод от ионных примесей.

Следует отметить, что общепринятого механизма влияния магнитного поля на состояние дисперсных систем пока не существует, а рассмотренные модели это лишь гипотезы. Вместе с тем проанализированные нами результаты экспериментальных исследований частично подтверждают появление процессов адсорбции ионов на поверхностях дисперсных частиц под действием силы Лоренца.

Исследования по влиянию магнитного поля на стойкость суспензий показали, что их магнитная обработка, как правило, способствует ускорению осаждения взвешенных частиц при всех применяемых значениях напряженности магнитного поля в пределах 80–240 кА/м.

В работе [2] приведены результаты исследований влияния магнитного поля на коллоидные системы. В этих исследованиях предпринята попытка выявить

влияние магнитного поля на коагуляцию суспензии  $BaSO_4$ , начиная с момента ее образования. Суспензию сульфата бария готовили соединением растворов  $Na_2SO_4$  и  $BaCl_2$ . После интенсивного перемешивания раствор подвергали фотометрированию. Аналогично готовили и суспензию  $BaSO_4$ , с использованием предварительно намагниченного раствора сульфата натрия той же концентрации, что и в контрольном опыте. Соответствующие растворы циркулировали через устройство со скоростью 50 мл/мин. Измерение проводили на фотоэлектроколориметре КФК-2 при температуре 20°C. Статистическая ошибка опыта составляла  $\pm 7\%$ .

Результаты опыта показывают (рис. 1, кривые 1 и 2), что при предварительном омагничивании раствора  $Na_2SO_4$  на протяжении 10 мин процесс мицеллообразования не меняется в пределах погрешности опыта.

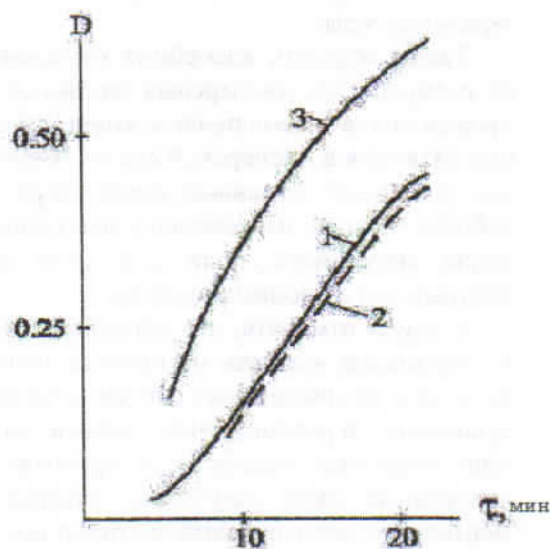


Рис. 1. Зависимость оптической плотности раствора от времени: (1) — обычный раствор; (2) — предварительно омагниченный раствор; (3) — омагниченный раствор

Опыт по приготовлению  $BaSO_4$  был видоизменен. Раствор  $Na_2SO_4$ , который после добавления  $BaCl_2$  подвергали воздействию магнитного поля, циркулировал через магнитное устройство в течение 5 мин, затем проводили фотометрические измерения. Результаты

опыта показывают (рис. 1, кривая 3), что в этом случае оптическая плотность раствора значительно возрастает. Итак, постепенное влияние магнитного поля на формирование зародыша  $BaSO_4$  приводит к росту коагуляции раствора.

Использование магнитной обработки позволило интенсифицировать процесс очистки и обессоливания сырой воды на установке обессоливания Гродненского промышленного объединения «Азот» [2]. При использовании магнитной обработки отмечен рост нагрузки на осветлители, причем после осветлителей общая жесткость воды ниже (по сравнению с контрольным периодом) на 10–11% (1,54–1,71 мг-экв/кг без обработки и 1,38–1,52 мг-экв/кг — при обработке).

Исходя из данных экспериментальных исследований и промышленных испытаний, предоставленных в [1, 2], и учитывая описанные выше модели, можно утверждать, что причиной изменений течения процессов коагуляции и седиментации под действием магнитного поля есть адсорбция ионов на поверхности дисперсных частиц.

Если же рассмотреть появление адсорбции ионов под действием силы Лоренца не как причину тех или иных изменений, а как отдельный процесс, это может быть основой для разработки метода очистки сточных вод от катионов различных металлов. Эффективность такой очистки будет зависеть от многих параметров магнитной обработки, включая напряженность, градиент и направленность магнитного поля, скорости раствора, времени обработки, а также свойств и состава сточных вод, которые подвергаются обработке. Критерием оценки эффективности станет изменение концентрации ионов до и после обработки магнитным полем.

Обработку сточных вод магнитным полем перспективно использовать, например, в системах гидрозолоудаления на крупных ТЭС, где золу, образующуюся при сжигании твердого топлива, транспортируют гидравлическим способом на золоотвалы. Химический состав золы при сжигании различных марок топлива изменяется в широких пределах:  $SiO_2$  — 10–68%;  $Al_2O_3$  — 10–

40%;  $Fe_2O_3$  – 2–30%; CaO – 2–70%; MgO – 0–10%. В золе присутствуют также токсичные соединения – V, Ge, Be, Hg, F и др. При взаимодействии с водой часть золы растворяется в ней, насыщая воду минеральными веществами, а другая часть создает с ней суспензию.

Для защиты природных водоемов современные ТЭС оборудуют обратными системами гидрозолаудаления, при этом в результате многократного контакта с золой вода растворяет большое количество минеральных веществ, поэтому ее качество существенно снижается. Высокая минерализация воды приводит к тому, что на внутренних поверхностях трубопроводов и насосов образуются труднорастворимые отложения (в основном карбоната кальция), что ухудшает работу систем обратного водоснабжения.

Возможность использования воды из системы гидрозолаудаления в других технологических операциях или сброса такой воды в природные водоемы определяют путем сравнения ее качества с соответствующими нормативными показателями. Например, сброс воды в естественный водоем недопустим, если концентрация в ней хотя бы одного из ионов превышает величину предельно допустимой концентрации этого иона установленную для данного типа водоема.

**Заключение.** Анализ исследований очистки сточных вод с использованием магнитного поля показал, что его действие заключается в регистрации изменений течения процессов коагуляции и седиментации дисперсных частиц. Основная роль при этом отводится появле-

нию адсорбции противоионов на поверхности дисперсных частиц, что сопровождается уменьшением их содержания в дисперсной среде и способствует снижению концентрации ионных примесей в сточных водах.

Обработка магнитным полем суспензии, образующейся при транспортировке золы перед сбросом ее в золоотвал, где происходит осаждение дисперсных примесей под действием силы тяжести, приводит к снижению концентрации катионов металлов в осветленной воде, что значительно повышает эффективность подготовки воды к повторному использованию или ее очистки перед сбросом в природные водоемы.

Благодаря снижению концентрации катионов кальция и магния уменьшаются отложения на внутренних поверхностях трубопроводов и насосов и др.

Таким образом, разработка метода предварительной очистки сточных вод от ионных и дисперсных примесей, основанного на использовании магнитного поля, является перспективным направлением научных исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водотведение и очистка сточных вод. М.: АСВ, 2004. 704 с.
2. Вильсон Е.В. Интенсификация работы очистных сооружений ЗОЦ «Чайка» на объекте ОАО «Уралкалий» // Строительство – 2012: тезисы докл. научно-практической конф., Ростов н/Д, 2012. С. 31–33.

## TREATMENT OF SEWAGE FROM IONIC CONTAMINANTS

A.P. Budonyi, L.A. Nichkova, A.N. Skakovskaya, S.A. Gutnik

Federal State Educational Institution of Higher Education «Sevastopol State University»  
Russian Federation, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

The role of magnetic processing technology for sewage treatment from ionic contaminants is considered in the article. The analysis of existing models and the results of experimental studies has made it possible to propose the foundations of a new method of application of magnetic field to improve the level of ecological safety of water resources use.

**Key words:** sewage, ion contaminants, magnetic processing, coagulation.