

8. Аитова И.З., Карманов А.Е., Векслер Г.Б. Ультразвуковая интенсификация процесса реагентной флотации промышленных и поверхностных стоков // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2010, № 11. – с. 15.
9. Абрамов В.О., Векслер Г.Б., Муллакаев М.С., Аитова И.З. Ультразвуковая интенсификация флотационной очистки поверхностных стоков у Студенец-Ваганьковского ручья на Краснопресненской набережной // Экология и промышленность России. – 2011, № 1. – с. 10-12.
10. Чантурия В.А., Вигдергауз В.Е. Электрохимия сульфидов. Теория и практика флотации. Издание второе, переработанное и дополненное. – М.: Руда и металлы, 2008. – 272 с.

### **Комбинированные схемы очистки водных систем**

к.х.н. проф. Беренгартен М.Г., к.т.н. Гуляева Е.С.

*Университет машиностроения*

8(499)267-07-02, berengarten@msuie.ru, egulyaeva@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассмотрены пути модернизации существующих технологических схем. Приведены экспериментальные данные разделения солевых растворов электромембранным методом. Предложены варианты комбинированных схем очистки водных систем.

*Ключевые слова:* комбинированная схема, сточные воды, обессоливание, мембранные методы

#### **Введение**

Внедрение стандартов ISO 14000 актуально для промышленных предприятий РФ, несмотря на морально устаревшие технологические процессы и методы очистки водных систем, используемые на большинстве из них, поскольку это является неотъемлемым условием повышения конкурентоспособности и улучшения имиджа предприятия.

Полная замена применяемых систем обработки воды в настоящее время затруднена как по экономическим, так и по технологическим причинам (из-за непрерывности технологического процесса), при этом комбинированные схемы обработки воды позволят снизить издержки отставания и перейти к широко применяемым в других областях техники методам очистки жидкостей на базе безреагентных технологий.

Рассмотрим возможность применения комбинированных схем на примере подготовки обессоленной воды и очистки сточных вод.

#### **Подготовка обессоленной воды**

Для удовлетворения технологических требований, предъявляемых к качеству обессоленной воды, возникает необходимость в специальной физико-химической обработке природной воды. Нарушение качества воды в технологическом процессе приводит к ухудшению эксплуатационных и экономических показателей и ведет к перерасходу сырья, выходу из строя оборудования и т.д. Одновременно при разработке технологической схемы подготовки воды необходимо комплексно решить вопросы, связанные с утилизацией образующихся сточных вод.

Используемые в РФ традиционные технологии водоподготовки обеспечивают в большинстве случаев необходимый уровень очистки природных вод и доведения их качества до требований технической эксплуатации. Однако вопрос утилизации сточных вод не решался.

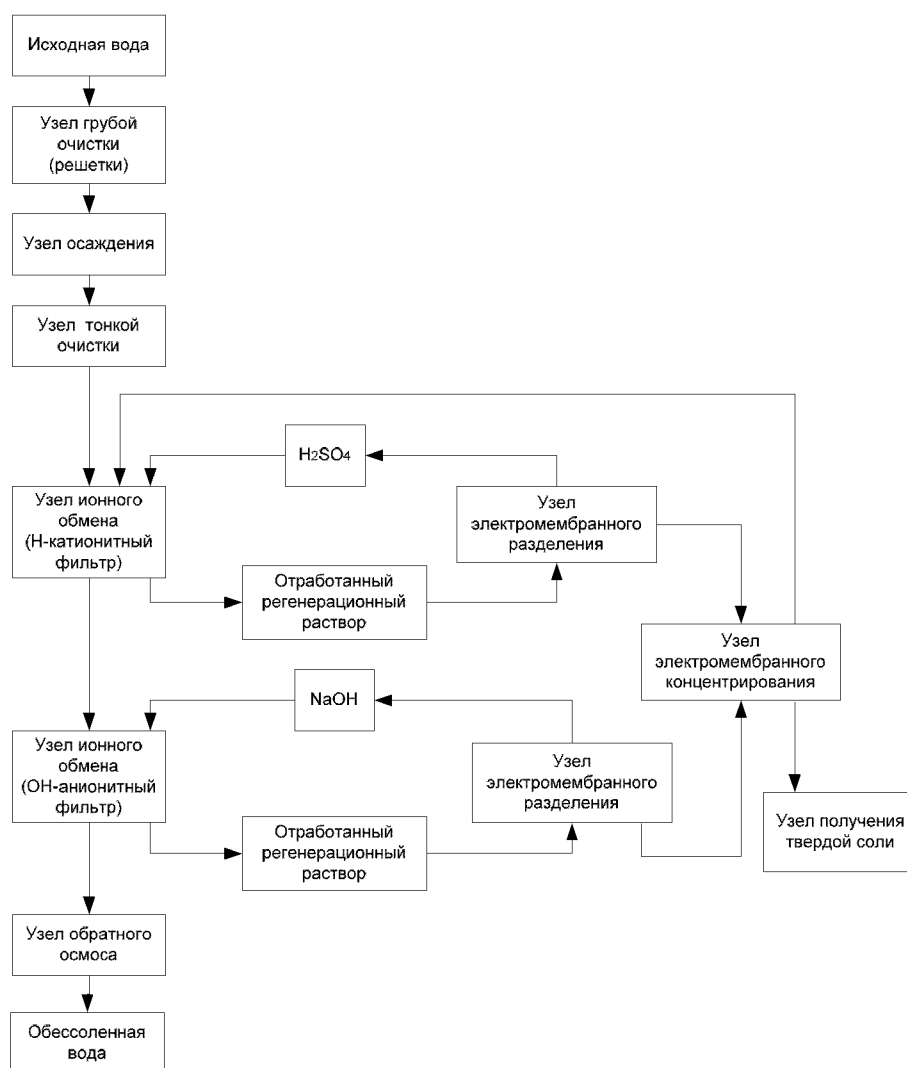
Анализ действующих схем водоподготовки позволяет сделать вывод, что к основным недостаткам химических технологий обработки воды следует отнести:

- 1) большие затраты реагентов на осветление и обессоливание воды, использование дорогостоящих ионообменных материалов в засыпных фильтрах, моральный и физический износ оборудования;

2) стоки водоподготовительных установок – наиболее опасный вид стоков, велики затраты обработанной воды на собственные нужды для промывки систем очистки, отмывки фильтров и другие операции.

Наиболее дорогостоящей и экологически опасной операцией при традиционной схеме водоподготовки является регенерация ионообменных фильтров. Использование традиционных технологий для регенерации ионообменных фильтров, в которых кислота, щелочь и соль безвозвратно теряется, не может считаться оптимальной. Такая технология характеризуется значительными затратами по используемым реагентам, является небезопасной в связи с применением высоко концентрированных агрессивных сред, требующих специальных условий хранения и обслуживания оборудования реагентного хозяйства. Кроме того, регенерационные и промывные воды фильтров требуют нейтрализации или специальной переработки для предотвращения загрязнения окружающей среды кислотами, щелочами и соевыми стоками.

Предложена традиционная схема, дополненная узлом электромембранного разделения, предназначенным для переработки регенерационных растворов и их многократного использования.



**Рисунок 1 – Принципиальная схема получения обессоленной воды**

На рисунке 1 представлена схема с рециклингом регенерационных растворов ионообменных фильтров в электродиализных аппаратах. Катионитовые фильтры регенерируют раствором серной кислоты, анионитовые фильтры – раствором гидроксида натрия. Стоки Н-катионитных фильтров собираются в баки отработанного регенерационного раствора, направляются в электродиализатор, где происходит их очистка от солей жесткости, железа, натрия

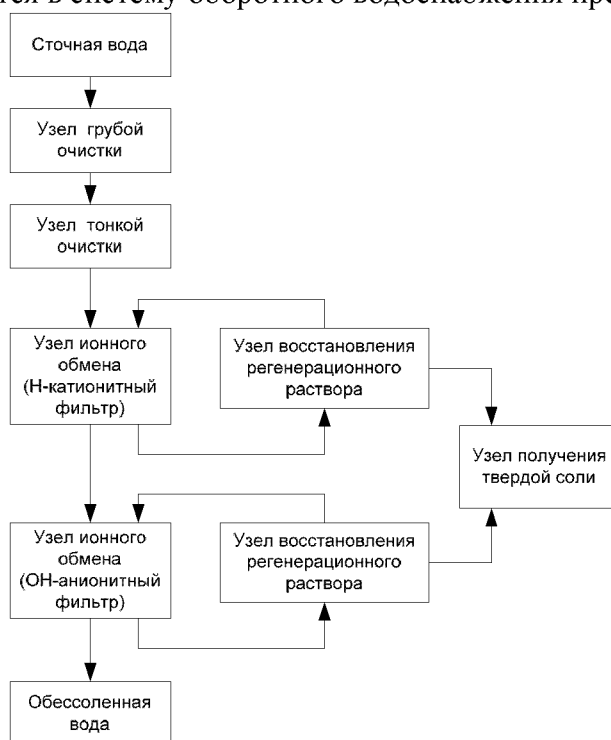
и других металлов. Восстановленный катализатор в форме слабого раствора кислоты повторно используется для регенерации свойств фильтров ионного обмена. Аналогичный процесс осуществляется в электродиализаторе для регенерации раствора щелочи. Электродиализаторы отличаются количеством мембран, предназначенных для селективного концентрирования ионов требуемого вида. Рассматриваемая схема позволяет сократить расход реагентов на регенерацию ионообменных смол. Особенно это актуально для регионов, отдаленных от основных поставщиков оборудования, реагентов, комплектующих материалов, что приводит к существенному повышению эксплуатационных расходов.

### Сточные воды

Для сточных вод рассмотренный подход реализован на примере регенерации технологических растворов и очистки сточных вод с производства стекловолокна. В результате производства стеклоткани образуются следующие отходы производства: отработанный раствор серной кислоты после предварительного смачивания стекловолокна; отработанный раствор серной кислоты после стадии выщелачивания; промывные воды после отмывки волокна от кислоты, продуктов реакции и замасливателя.

Согласно проведенному анализу [1], схема очистки воды с использованием ионообменных смол не удовлетворяет современным требованиям к охране окружающей среды, несмотря на свойственные ей низкие энергетические затраты. При этом рассмотрении вариант схемы, в основе которой лежит электрохимическая очистка, признан более экологичным. Однако вариант комбинированной схемы, в основе которой – узел обессоливания на основе фильтров ионного обмена и переработка регенерационного раствора на электродиализном модуле, может быть наиболее рентабелен в случае, когда сток имеет схожий ионный состав.

За базовую схему деминерализации стоков принят вариант на базе ионного обмена, предусматривающий включение в структуру технологического процесса электромембранные установки. Эта схема состоит из системы предочистки, Н-катионитовых фильтров, ОН-анионитовых фильтров. Обессоленная вода после ионообменных фильтров с содержанием  $<0,5 \text{ г/дм}^3$  направляется в систему оборотного водоснабжения предприятия.



**Рисунок 2 – Принципиальная схема очистки сточных вод производства стекловолокна**

Сточная вода поступает на предварительную очистку: грубую очистку от грубодисперсных примесей; тонкую очистку от взвешенных и коллоидных примесей путем фильтро-

вания стоков через песчаную загрузку в механических фильтрах. После тонкой очистки содержание в стоках взвешенных веществ не превышает  $1 \text{ г/м}^3$ , общего железа –  $1 \text{ г/м}^3$ . После чего подается на ионообменные фильтры. Восстановление регенерационного раствора аналогично описанному выше (рисунок 2).

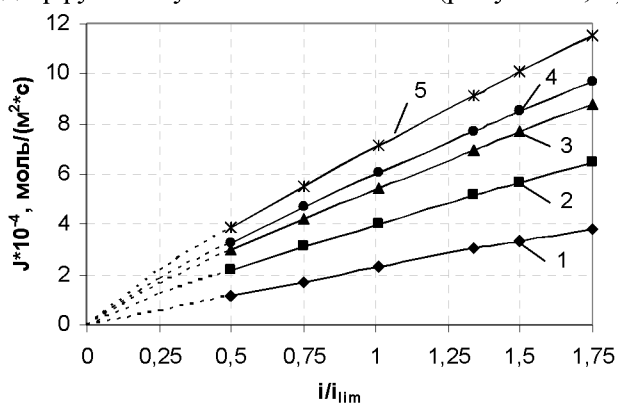
Экспериментальное определение эффективности массопереноса в зависимости от технологических параметров проводили в гальваностатическом режиме на модельных растворах  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ( $C_0 = 0,005 \div 0,1\text{M}$ ), в диапазоне изменения плотности тока  $i/i_{\text{lim}} = 0 \div 1,75$ , при скорости потока  $w = 0,01 \div 0,28 \text{ м/с}$ .

По результатам анализа рассчитывали потоки ионов через ионообменные мембраны:

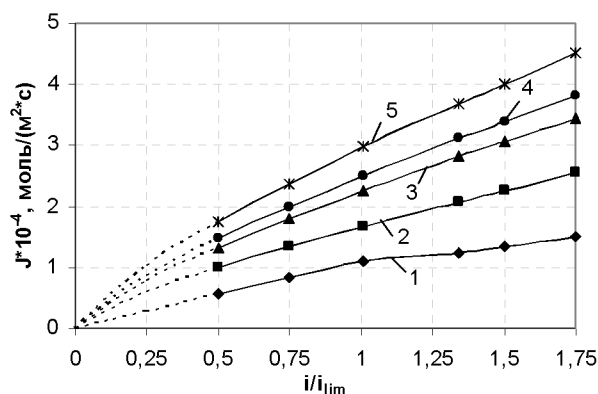
$$J_i = \frac{M}{F_M \cdot \tau}$$

где:  $M$  – число молей ионов, перенесенных через мембрану,  $F_M$  – площадь мембраны,  $\tau$  – время пребывания.

Усредненные результаты представлены в виде зависимостей потока компонента через единицу площади в единицу времени от плотности тока, нормированной на предельно-диффузионную плотность тока (рисунки 3, 4).



**Рисунок 3 – Зависимость потока ионов  $\text{Na}^+$  через мембрану МК-40 от плотности тока ( $C_0=0,02\text{M}$ ) при скорости потока  $w$ , м/с: 1 - 0,01; 2 - 0,05; 3 - 0,124; 4 - 0,168; 5 - 0,28**



**Рисунок 4 – Зависимость потока ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  через мембрану МА-40 от плотности тока ( $C_0=0,02\text{M}$ ) при скорости потока  $w$ , м/с: 1 - 0,01; 2 - 0,05; 3 - 0,124; 4 - 0,168; 5 - 0,28**

Из полученных зависимостей видно, что чем больше плотность тока, тем выше поток ионов, а соответственно, меньше времени и меньше мембранной площади требуется для достижения требуемой концентрации.

На рисунке 5 представлены зависимости кинетики разделения реального и модельного сульфатных растворов с одинаковой начальной концентрацией при разных плотностях тока. Видно, что скорость разделения реальных и модельных растворов одинаковой концентрации практически совпадает.

При необходимости получения регенерационных растворов большей концентрации возможна организация циркуляции по замкнутому контуру. Анализ динамики концентрирования щелочи (представленный на рисунке 6.) показывает, что скорость перехода ионов натрия через мембрану мало зависит от начальной концентрации щелочи и остается практически постоянной. Таким образом, если обеспечить циркуляцию щелочного раствора, возможно получение щелочи концентрацией  $26 \text{ г/л}$  и более.

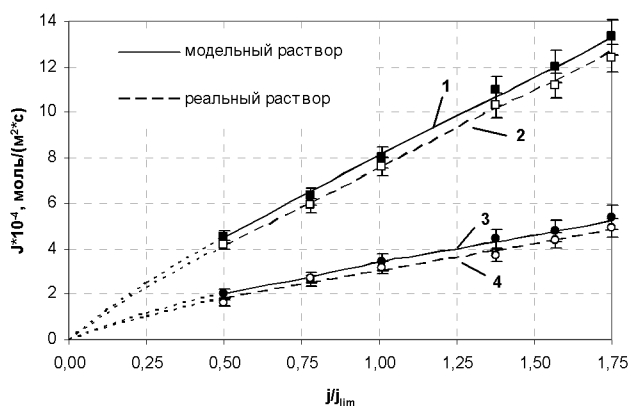
#### Заключение

Предложенные схемы обладают рядом преимуществ:

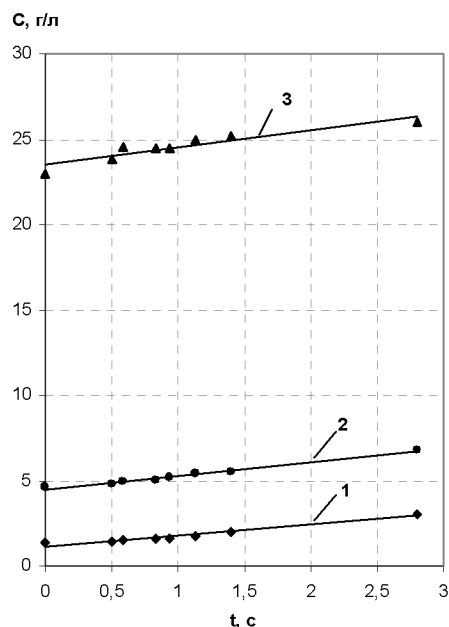
- обеспечение очистки до необходимой степени чистоты (с возможностью возврата в про-

цесс растворов реагентов);

- система экологически чистая и не наносит вред окружающей среде;
- за счет оборотного цикла кардинально снижены объемы сточных вод;
- исключена стадия нейтрализации кислых стоков, что снижает расходы на закупку реагента;
- схемы позволяют провести модернизацию существующих производств на малых площадях, обеспечить экологичность и производственную безопасность.



**Рисунок 5 – Зависимость потока ионов соли от плотности тока ( $C_0=0,03M$ ): 1, 2 – ионов  $Na^+$  через мембрану МК-40; 3, 4 – ионов  $SO_4^{2-}$  через мембрану МА-40**



**Рисунок 6 – Зависимость концентрации щелочи от длительности электролиза при предельно-диффузионной плотности тока: начальная концентрация  $Na^+$ : 1 – 1,38 г/л; 2 – 4,6 г/л; 3 – 23 г/л**

#### Литература

1. Беренгартен М.Г., Гуляева Е.С. Варианты схем очистки сточных вод с производства стекловолкна. Вода: химия и экология. № 1, 2012. с.

### **Диэлектрическая релаксация и структурные изменения в водных растворах тетраметилкарбамида**

д.х.н. проф. Лилеев А.С., д.х.н. проф. Лященко А.К., Охотникова К.А.  
 Университет машиностроения  
 8 (499) 267-19-47, ohotkseniya@yandex.ru

*Аннотация.* В статье рассмотрена диэлектрическая проницаемость водных растворов. Проведено экспериментальное исследование и расчеты СВЧ диэлектрических свойств, сделаны заключения о структурно-кинетических изменениях воды на примере растворов тетраметилкарбамида.

*Ключевые слова:* диэлектрическая проницаемость, структура, температурная зависимость, концентрационные пределы, диэлектрическая релаксация.

В настоящее время показано, что растворитель должен рассматриваться как среда, структура и молекулярно-кинетическое состояние которой влияет на протекание химических