

Рис. 3. Зависимость коэффициента температуропроводности мерзлого торфа (а) и теплопроводности (б) от объемной влажности и плотности торфа. Плотность, г/см<sup>3</sup>: 1) 0,30–0,37; 2) 0,26–0,28; 3) 0,24; 4) 0,20–0,22; 5) 0,18; 6) 0,12–0,16

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ершов, Э.Д. Физика- химия и механика мерзлых пород. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 439 с.
2. Калюжный, И.Л. Гидрофизические исследования при мелиорации переувлажненных земель / И.Л. Калюжный, К.К. Павлова, С.А. Лавров – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С.114–115.
3. Капотов, А.А. Исследование водопроницаемости талых и мерзлых почвогрунтов верхних слоев аэрации: автор. дис. ... к-та техн.наук, 1973. – 20 с.
4. Иванов, Н.С. Тепло- и массоперенос в мерзлых горных породах. – М.: Наука, 1969. – 240 с.
5. Андрианов, В.М. Некоторые вопросы внутреннего теплопереноса во влажных твердых дисперсных материалах при отрицательной температуре: автор. дис. ... канд. физ-мат наук. – Киев, 1973. – 27 с.
6. Давидовский, П.Н. Тепло- и массоперенос в промерзающих торфяных системах / П.Н. Давидовский, Г.П. Бровка. – Мн.: Наука и техника, 1985. – 160 с.

Материал поступил в редакцию 16.02.10

#### GLUSHKO K.A. The investigation of the thermal characteristics of the reclaimed peatlands of the Bobrik River watershed

The thermal characteristics of the reclaimed peatlands of the Bobrik River watershed have been investigated. The regularity of their change depending on the basic water-physical characteristics has been determined. Their quantitative correlations have been determined for melted snow and frozen soil.

УДК 628.337

Строкач П.П., Яловая Н.П.

### ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННАЯ ПОДГОТОВКА ПРИРОДНЫХ ВОД

**Введение.** Природная вода представляет собой сложную гетерогенную систему, содержащую разнообразное мелко и крупно суспендированные, коллоидно-растворенные, газообразные и истинно-растворенные вещества [1]. Кроме того, природная вода является электролитом, так как растворенные в ней газы, минеральные и органические вещества в той или иной степени диссоциированы на ионы, а коллоидные и взвешенные вещества в большинстве случаев несут определенный заряд.

Электрокоагуляция обусловлена введением положительных многозарядных ионов металла, гидролизующихся в воде с образованием гидроксидов и других промежуточных соединений. Данный метод обеспечивает высокий, а иногда и единственный эффект удаления из воды загрязнений в виде взвесей (минерального, орга-

нического и биологического происхождения), коллоидов (соединений железа, веществ, обуславливающих цветность воды и т. д.), а также отдельных веществ, находящихся в молекулярном и ионном состоянии, благодаря высокой сорбционной способности электрохимически получаемого гидроксида алюминия.

Разработка и внедрение методов электрообработки загрязненных водных систем позволяет применять электрохимические технологии для решения многих экологических проблем.

**Технологические особенности электрокоагуляционной очистки природных вод.** Электрокоагуляционный метод очистки природных и сточных вод давно привлекает исследователей и практиков разных стран как эффективный и прогрессивный способ подготовки воды для хозяйственно-питьевого, промышленного водоснаб-

Строкач Петр Павлович, к.т.н., профессор кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Яловая Наталья Петровна, к.т.н., доцент, директор института повышения квалификации и переподготовки кадров Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

жения и для очистки сточных вод, и характеризуется компактностью установок, возможностью автоматизации процесса, легкостью регулирования его параметров, высокой эффективностью, а в ряде случаев исключительной возможностью удаления из воды отдельных загрязнений.

Электрохимические реакции позволяют без дополнительных затрат химических реагентов преобразовать пресную или слабосоленоватую природную воду в высокоактивный технологический раствор, обладающий практически любыми необходимыми функциональными свойствами.

Электрокоагуляция может эффективно использоваться для осветления, обесцвечивания, обесфторивания, обезжелезивания, частично умягчения и других способов обработки воды, удаления из нее соединений марганца, стронция, кобальта, никеля, селена, органических веществ, водорослей, бактерий и других загрязнений [1–7].

Для технологической реализации процесса электрокоагуляции в последние годы разработано большое число конструкций электролизеров для электрохимической обработки воды [6, 8–14]. Электролизеры такого типа различаются конструктивными особенностями и режимами эксплуатации. Они классифицируются по гидравлическим, механическим, технологическим и другим признакам: по режиму работы, типу реакторов, материалу и конструкции электродов, движению воды в межэлектродном пространстве и в самом реакторе, ориентации, расположению, конфигурации и соединении электродов, в виду воздействия на дисперсную систему [2].

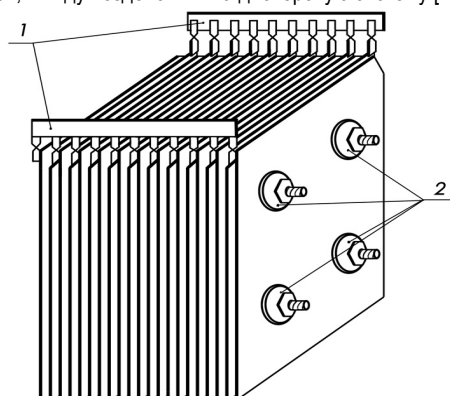


Рис. 1. Электродная система пакетного типа

1 – токораспределительные пластины; 2 – стягивающие шпильки

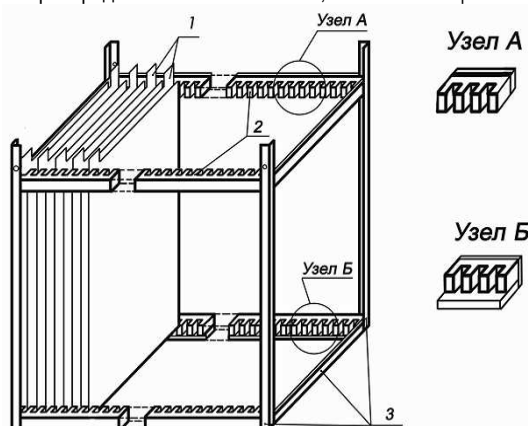


Рис. 2. Электродная система пазного типа

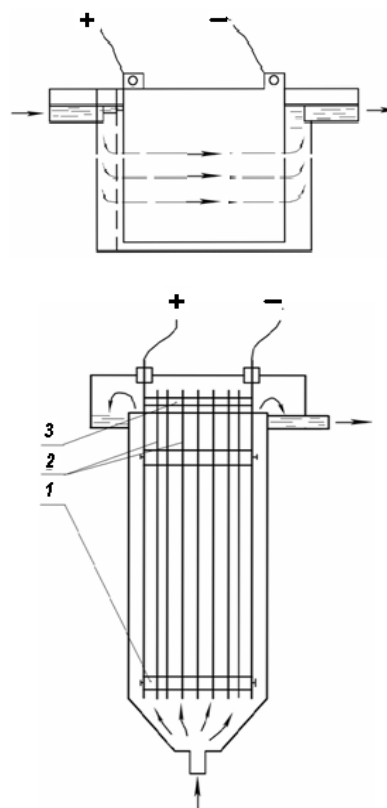
1 – электроды; 2 – пазы; 3 – рама

Из известных конструкций аппаратов для электрокоагуляции наибольшее применение находят в настоящее время бездиафрагменные электрокоагуляторы пакетного или пазного типа с растворимыми электродами (рис. 1, 2). Пакет растворимых электродов собирается с помощью специальных шпилек электродной системы, обеспечивая жесткость конструкции. Недостатком такой конструкции является забивание продуктами электрохимических реакций участков

прохождения соединительных шпилек, а также всего межэлектродного пространства при расстоянии между электродами от 6 до 8 мм. Более удачным техническим решением считаются электрокоагуляторы пазного типа. Электродный пакет в таком аппарате укрепляется на раме, в которой фрезеруются специальные пазы для фиксации электродов [2].

Расположение электродов – продольное или поперечное по отношению к лотку для слива обработанной воды. При поперечном расположении токоподводы устраиваются по бокам электрокоагулятора вне зоны выделения водорода, что повышает безопасность обслуживания. Расстояние между электродами принимается не менее 8–10 мм для предотвращения забивания межэлектродного пространства. В нижней части электрокоагулятора предусматривается конический бункер для сбора шлама, гидроксидов металлов, выпавших в осадок в процессе работы аппарата.

Большинство устройств для электрокоагуляции с применением растворимых электродов представляют собой безнапорные пластинчатые электролизеры горизонтального или вертикального типа (рис. 3) [15].



а)

б)

Рис. 3. Безнапорные горизонтальные (а) и вертикальные (б) пластинчатые электрокоагуляторы

1 – изолирующие вставки; 2 – электродные пластины; 3 – токоведущие вставки

Пластины металла располагаются на расстоянии 3–20 мм друг от друга и удерживаются изолирующими вставками, электрический ток подводится к каждой пластине (параллельное включение).

Пластинчатые электролизеры в зависимости от расположения электродов и направляющих перегородок могут работать как многопоточные и как однопоточные (рис. 4). При многопоточной схеме движение воды в электрокоагуляторе проходит одновременно через все промежутки между электродами (параллельное соединение каналов). Этот тип электролизера конструктивно наиболее прост, но скорость движения воды в нем мала. Для борьбы с пассивацией электродов рекомендуется применять однопоточную схему, при которой вода проходит по лабиринту, образуемому электродами (последовательное соединение каналов). При этом скорость движе-

ния воды относительно электродов в  $n-1$  раз больше, чем при многопоточной схеме ( $n$  – число электродных пластин).

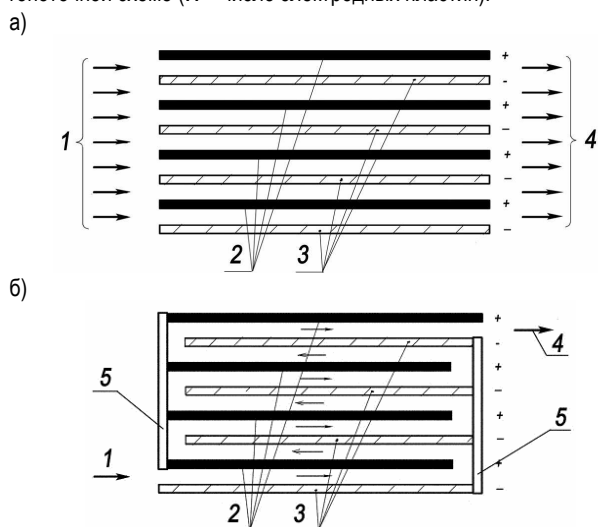


Рис. 4. Многопоточная (а) и однопоточная (б) схемы движения воды в электрокоагуляторе

1 – поступление исходной воды; 2 – анод; 3 – катод; 4 – выход обработанной воды; 5 – винипластовые перегородки

При низком напряжении электролиза (2–6 В) используется последовательное монополярное соединение отдельных блоков электродной системы (рис. 5,а) для получения суммарного напряжения, равного напряжению на клеммах применяемого выпрямителя. С целью упрощения монтажа электрокоагуляторов и уменьшения потребляемого тока применяется биполярное подключение электродов (рис. 5,б), т.е. подвод тока не к каждой пластине, а через параллельно-последовательное подключение пластин. Промежуточные пластины при этом растворяются вследствие поляризации в электрическом поле [2].

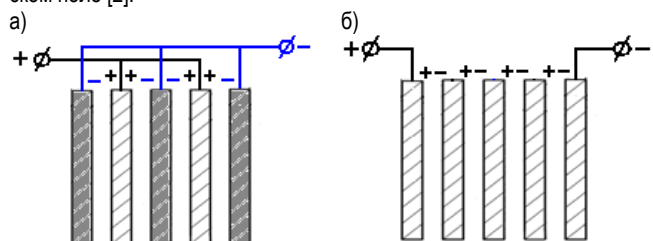


Рис. 5. Схемы монополярного (а) и биполярного (б) соединения электродов

В работе [11] предложен реактор-электрокоагулятор, предназначенный для осветления, обезцвечивания и умягчения питьевых и технических вод (рис. 6).

Вода через трубу 9 подается в эжектор 2 и циркулирует в пространстве между электродами 3, установленными на опорах и охватывающими эжектор. Обработанная вода выходит из аппарата по трубе 5, установленной тангенциально по отношению к корпусу 1. Предусмотрена подача воздуха по трубе 7 и растворов реагентов по трубе 10. Для опорожнения аппарата служит патрубок 6. Особенности конструкции электролизера позволяют уменьшить поляризацию электродов, снизить расходы электроэнергии, улучшить гидравлические и физико-химические условия формирования хлопьев коагулянта и осуществить очистку электродов при помощи периодической подачи воздуха через трубу 7.

Французская фирма «Дегремон» предлагает установку для электрохимического коагулирования воды на фильтровальных станциях [16]. Исходная вода подается в железобетонный бак, в котором установлено 55 железных или алюминиевых пластин, площадью 1 м<sup>2</sup> и расстоянием между электродами около 20 мм. Расход электроэнергии при работе установки составляет 5,5 Вт·ч на выход 1 г железа и

около 11 Вт·ч на выход 1 г алюминия, переходящего в раствор. Вода предварительно хлорируется. В процессе эксплуатации электролизера раз в месяц меняется полярность электродов для предупреждения их пассивации.

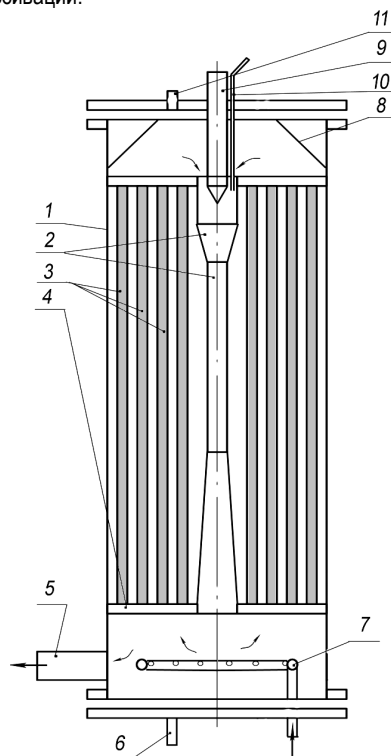


Рис. 6. Реактор-электрокоагулятор для обработки воды

Французской фирмой «Stuart Corporation» разработано устройство для очистки воды от загрязнений методом электрокоагуляции. Обрабатываемая вода проходит через проточную камеру с расположенными в ней на расстоянии 3,2 мм друг от друга алюминиевыми пластинами [14].

Оборудование для электрохимического коагулирования и обеззараживания воды с использованием алюминиевых и серебряных электродов выпускается французской фирмой «Комега» [17]. Затраты электроэнергии при электрокоагуляции загрязнений составляют 0,325 кВт·ч на 1 м<sup>3</sup> обработанной воды.

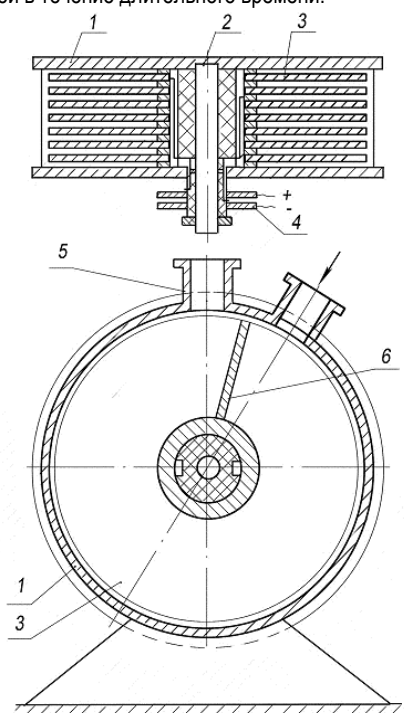
Ряд устройств для электрохимической очистки воды от растворенных примесей с использованием в качестве анодов алюминия, железа, никеля, кобальта, хрома, магния, аморфных сплавов и др. запатентован в США, России [14, 17].

В 60–90 гг. в США, Франции и Японии был запатентован ряд устройств и системы электродов для очистки воды от соединений железа, кремния и др. загрязнений [18–21].

Разработаны конструкции электролизеров с механической, пневмо-гидравлической или эрозионной с использованием абразивных материалов очисткой электродов от образующихся осадков [22]. Электроды укрепляют на вращающемся валу, установленном в корпусе. Засорение межэлектродного пространства предотвращается расположенной внутри корпуса гребенкой, между зубцами которой движутся электроды (рис. 7).

Для предотвращения пассивации электродов, кроме использования вращающихся электродов, механических скребков или щеток для снятия отложений, рядом исследователей [23, 24] предлагается наложение однофазного переменного тока различной частоты или магнитного поля и засыпки магнитных материалов в межэлектродное пространство, применение импульсного электрического тока для питания электродных систем. Эти меры считаются эффективными при постоянном составе природных или сточных вод. При колеблющемся составе сточных вод возникают неблагоприятные взаимодействия химических ингредиентов в межэлектродном пространстве, приводящие к пассивации или образованию отложений. Такие явле-

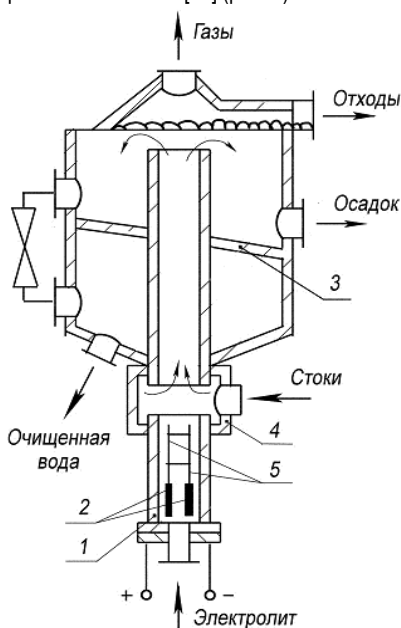
ния повторяются периодически или спонтанно, что может привести к выходу из строя электродной системы, нормально функционирующей в течение длительного времени.



**Рис. 7.** Устройство для очистки воды в электрокоагуляторе  
1 – корпус; 2 – вращающийся вал; 3 – электроды; 4 – шина; 5 – патрубков; 6 – перегородка

Для выбора условий, предотвращающих образование осадков труднорастворимых соединений в межэлектродном пространстве, рекомендуется использовать упрощенные диаграммы Пурбе [2, 25], позволяющие оценить термодинамически вероятное поведение металлов в водных растворах и описать область коррозионной их активности и пассивности в зависимости от pH и окислительно-восстановительного потенциала (Eh) среды.

Для предотвращения пассивации электродов разработаны электрокоагуляторы колонного типа [24] (рис. 8).

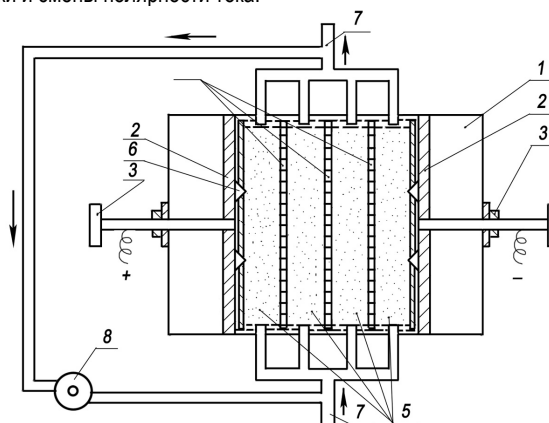


**Рис. 8.** Электрокоагулятор колонного типа  
1 – корпус аппарата; 2 – растворимые электроды; 3 – перегородка; 4 – коллектор; 5 – пластины

Электролит подается в нижнюю часть аппарата, где размещены электроды. В пространстве над электродами подается обрабатываемая вода, которая смешивается с образующимися в электродной камере коагулянт и насыщается электролитическим газом. Для предотвращения попадания обрабатываемой воды в электродную камеру предложено устраивать над электродной системой запорный обратный клапан.

Для очистки больших количеств воды в настоящее время разрабатываются электрокоагуляторы с применением отходов производства, например, металлической стружки или обрезки металла, в виде засыпных электродов.

На рис. 9 показан электролизер с засыпными электродами, разработанный в США инженером Роллером [17]. Электролизер состоит из ряда ячеек, отделенных друг от друга сепараторами. Каждая ячейка заполняется металлическими опилками. Подвод тока может осуществляться либо только к клеммам крайних токоподводящих электродов, либо к каждой ячейке. В патенте указывается, что при эксплуатации электрокоагулятора сепаратор забивается коагулянт, в связи с чем значительно увеличивается гидравлическое сопротивление ячеек. В конструкции электрокоагулятора Роллера предусмотрены специальные приспособления для уплотнения засыпки и смены полярности тока.



**Рис. 9.** Электролизер с засыпными электродами  
1 – ванна электролизера; 2 – неэлектропроводные торцевые пластины; 3 – винты для уплотнения засыпки; 4 – диафрагмы; 5 – засыпка из металлических опилок; 6 – токоподводы; 7 – подвод воды; 8 – отвод воды; 9 – циркуляционный насос

Однако, по нашему мнению, такие электрокоагуляторы дают хорошие результаты только при кратковременной работе и непригодны для длительного использования из-за несовершенства их конструкции, быстрой пассивации анода и др. недостатков (рис. 10).

Однако применение засыпных электролизеров для обработки воды имеет ряд существенных недостатков: развивается пассивация анодов, что снижает выход металла по току; между стружками гидроксидов металлов накапливаются и слипают адсорбированные на них загрязнения, что затрудняет их очистку; увеличивается напряжение и расход электроэнергии за счет увеличения сопротивления ячеек; возникает необходимость специальной обработки материала стружек (например, встряхивания) с целью удаления с их поверхности масел и других веществ.

В ряде стран (Япония, Германия и др.) в последние годы получили распространение бытовые электролизеры с диафрагмой для обработки питьевой воды с целью улучшения органолептических и химических показателей [28]. Электролизер выполнен в форме стакана, в котором закреплен катод из металлической фольги. Во внутренней емкости из пористого материала, выполняющего функцию диафрагмы, установлен анод. Внешний корпус имеет съемную крышку со встроенным электрическим регулятором и выпрямителем. Исходная вода заливается в электролизер через воронку.

Возможность обработки воды в легко управляемых компактных установках с получением коагулянта на месте обработки воды выгодно отличает электрокоагуляционный метод от реагентных и позволяет исключить сложное технологическое оборудование, отказаться от реагентного хозяйства и значительно сократить производственные площади.

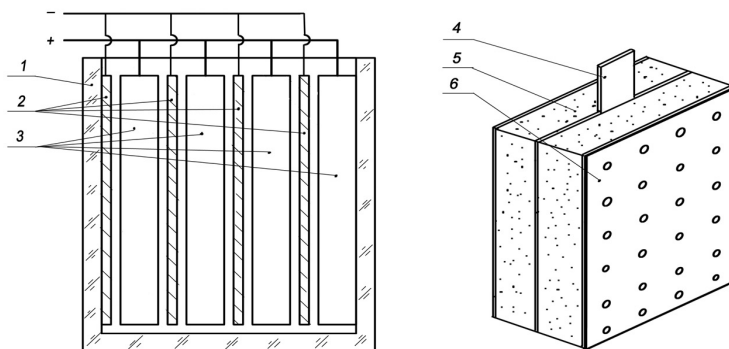


Рис. 10. Схема электрокоагулятора с комбинированным анодом

1 – корпус электрокоагулятора; 2 – катоды; 3 – комбинированные аноды; 4 – токоподводящая контактная пластина; 5 – отходы металла; 6 – диэлектрический перфорированный материал

Аналогичные установки с использованием в качестве анодов отходов металла (стружки) описываются и другими исследователями [2, 26, 27] (рис. 11, 12).

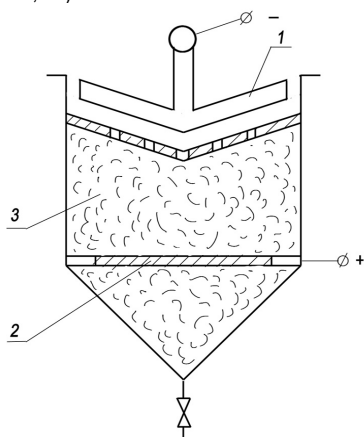


Рис. 11. Стружечный электрокоагулятор

1 – корпус аппарата; 2 – нерастворимый анод; 3 – металлическая стружка

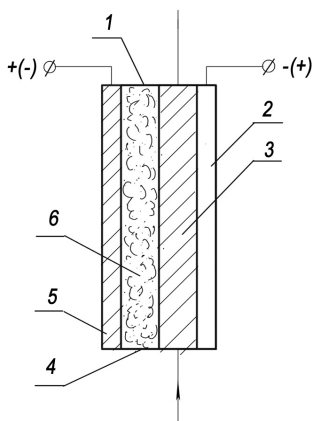


Рис. 12. Стружечный электрокоагулятор с непроточной анодной (катодной) камерой

1 – диафрагма; 2 – катод (анод); 3 – проточная камера; 4 – непроточная камера; 5 – нерастворимый анод (катод); 6 – металлическая стружка

Патентом [29] предложен способ обезцвечивания природных вод с последующим использованием их в качестве питьевой воды, который показывает эффективность применения электрокоагуляции в бездиафрагменном аппарате с растворимыми анодами из стали Ст. 3 и алюминия при плотности тока от 2 до 60 А/м<sup>2</sup>. Образующий в процессе электролиза осадок гидроксида алюминия предлагается

отделять от осветленной воды отстаиванием и в последующем повторно использовать перед стадией электрокоагуляции при соотношении объема осадка к воде от 1:50 до 1:500.

Способ обезцвечивания природной воды методом электрокоагуляции в аппарате с использованием алюминиевых анодов [30] использовался для очистки воды Иреляхского водохранилища, являющегося единственным источником питьевой воды г. Мирного. Вода этого бассейна характеризуется следующими параметрами: низким солесодержанием, малой мутностью и высокой цветностью, сезонно изменяющимися в широких пределах, что обуславливает сложность ее очистки обычными химическими методами. Цветность данных природных вод обусловлена присутствием в них гумусовых веществ и их соединений с различными металлами, вымытыми из горных пород, которые очень устойчивы и практически не выводятся из иреляхской воды используемыми химическими методами очистки. Авторы представили результаты по обезцвечиванию воды после ее электрокоагуляции при изменении плотности тока от 1 до 80 А/м<sup>2</sup> и различном объемном соотношении осадка и очищаемой воды. Оптимальный диапазон значений плотности тока в процессе электрокоагуляции, обеспечивающий получение продукта с цветностью 20 град и менее, составил 2–60 А/м<sup>2</sup>. Отмечается, что при соотношении осадка к очищаемой воде 1:100 цветность, равная 18,5 град, может быть получена после электрокоагуляции исходной воды при плотности тока 2 А/м<sup>2</sup> после отстаивания в течение 12 часов. При соотношении осадка к очищаемой воде 1:350 минимальная плотность тока в процессе электрокоагуляции очищаемой воды, обеспечивающая получение продукта с цветностью менее 20 град, должна быть увеличена до 20–30 А/м<sup>2</sup>. По заключению Центра санэпиднадзора г. Мирного после очистки иреляхской воды в конечном продукте коли-индекс был менее 3 и роста общего микробного числа (ОМЧ) не наблюдалось. Увеличение плотности тока в процессе электрокоагуляции до 60 А/м<sup>2</sup> и более мы считаем нецелесообразным из-за удорожания процесса.

Электрокоагулированием можно достигнуть эффективного обеззараживания сточных вод, очистку их от жиров и масел, нефтепродуктов, нитропроизводных толуола, радиоактивных веществ, хрома, сульфидов, СПАВ, красителей и др. загрязнений [22–24].

**Заключение.** Анализ современного состояния существующих технологий электрокоагуляционной очистки показывает перспективность и высокую эффективность применения метода для очистки природных и сточных вод, используемых в хозяйственно-питьевом и промышленном водоснабжении. Осуществление электрокоагуляционной очистки воды в компактных, автоматически действующих и легко обслуживаемых установках особенно удобно для небольших автономных объектов, например, оздоровительных лагерей, агрогородков и др.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кульский, Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды / Л.А. Кульский. – К.: Наукова думка, 1980. – 524 с.
2. Яковлев, С.В. Технология электрохимической очистки воды / С.В. Яковлев, И.Г. Краснорободько, В.М. Рогов. – Л.: Стройиздат, 1987. – 312 с

3. Дмитриев, В.Д. Методы подготовки воды в условиях Севера / В.Д. Дмитриев. – Л.: Стройиздат, 1981. – 120 с.
4. Слипченко, А.В. Конструирование электролизера для окислительной обработки природных вод / А.В. Слипченко, В.В. Максимов. – Киев: Стр-во и архит. – 1990. – №11. – С. 84–89.
5. Бейгельдруд, Г.М. Электрохимическая очистка воды / Г.М. Бейгельдруд // Достиж. науки и техн. АПК. – 1993. – №3. – С. 27.
6. Силин, Е.А. Экспериментальные и конструктивные исследования в области электрохимической очистки питьевых вод / Е.А. Силин, З.Я. Ярославский // Труды ВНИИ ГИМ. Вып. 44. – М., 1964. – С. 197–200.
7. Строкач, П.П. Экология гидросферы / П.П. Строкач, Н.П. Яловая. – Брест: БГТУ, 2004. – 322 с.
8. Устройство для электрохимической очистки воды от растворенных примесей: пат. кл. 204-197 США, С 02 В № 3425925, опубл. 4.11.1989.
9. Электрокоагулятор для очистки сточных жидкостей: а.с. 1810305 СССР, МКИ5 С 02 F 1/46, В 03 С 5/00 / Н.Н. Тролль, М.Г. Журба, Л.Л. Литвиненко, Н.В. Яцков, В.В. Ковалев, А.П. Ткач. – № 4931960/26; заявл. 29.04.91; опубл. 23.04.93. – 1993. – Бюл. № 15.
10. Аппарат для электрической обработки сточных вод: франц. пат., кл. С 02 С, № 1548402, опубл. 28.10.1986.
11. Реактор-электрокоагулятор для обработки воды: а.с. СССР, кл. 85 в, 2/01; 12д 2/01 / Е.Ф. Кургаев Е.Ф. [и др.] – Оpubл. 6.11.1967. – Бюл. № 23.
12. Устройство для очистки воды от находящихся в ней взвешенных и растворенных примесей под действием электрического тока: а.с. 179685 СССР, МПК С 02, кл. 85 в / П.П. Пальгунов – Оpubл. 04.04.1966. – Бюл. № 25.
13. Evans, S. Electronic coagulator / S. Evans // Water Works Engineering. – 1966. – Vol. 99, №4. – P. 56–62.
14. Сковрцова, И.В. Новые малорастворимые аноды из аморфных сплавов для электрохимической очистки сточных и природных вод / И.В.Сковрцова, Н.Д. Томашов, А.И. Щербаков // Материалы XV Менделеев. съезда по общ. и прикл. химии, Минск, 24–29 мая 1993 г. – Минск, 1993. – Т.4. – С. 175–176.
15. Кульский, Л.А. Технология очистки природных вод / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – К.: Вища школа, 1981. – 328 с.
16. Coagulant control by streaming current technology // Water and Waste Treat (Gr. Britt.). – 1989. – Vol. 32, №3. – P. 1–5, 38.
17. Камалов, М. Разработка мембранного электролизера и технологии электрохимического приготовления раствора смешанного железо-алюминиевого коагулянта: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04, 14.00.07 / М. Камалов. – М., 2003. – 170 с.
18. Введение в воду ионов тяжелых металлов методом анодного растворения: франц. пат., кл. С 02 В, № 1502660, опубл. 16.10.1976.
19. Метод удаления из воды ионов железа, марганца и других металлов: франц. пат., кл. С 02 С, №1486434, опубл. 7.02.1986.
20. Система электродов для очистки воды методом электролиза многофазным переменным током: яп. пат. № 3361 / Акагами Йо-дзо. – Оpubл. 9.04.1980.
21. Обработка воды методом электролиза: яп. пат. № 3638 / Сасаки Тору. – Оpubл. 6.04.1984.
22. Электрокоагулятор для очистки жидкостей: а.с. 1810305 СССР, МКИ 5 С 02 F 1/46, В 03 С 5/00 / Н.Н. Тролль, М.Г. Журба, Л.Л. Литвиненко [и др.]. – № 4931960/26; Заявл. 29.04.91; Оpubл. 23.04.93. – Бюл. № 15.
23. Герасимов, И.В. Очистка сточных вод общего стока нефтеперерабатывающих заводов постоянным электрическим током с применением флотации / И.В. Герасимов // Тр. Уфим. нефт. ин-та. Вып. 3. – 1980. – С. 45–48.
24. Назаров, В.Д. Тенденции развития водоподготовки от физико-химических до электрокоагуляционных процессов / В.Д. Назаров [и др.] // Башк. хим. журнал. Т. 11. – 2005. – № 5. – С. 97–99.
25. Лукашев, Е.А. Электрохимическая коррозия / Е.А. Лукашев, Г.Н. Лукашева, И.П. Соколов. – М.: МГУС, 2002. – 68 с.
26. Макарова, Е.Г. Электрохимическое умягчение воды / Е.Г. Макарова, В.К. Любимов. – Пермь: Изд-во Всес. н.-и. и проект.-конструкт. ин-та охраны окруж. природ. среды в угол. пром-сти, 1998. – 11 с.
27. Пономарев, В.Д. Поведение коллоидных систем при электрокоагуляции / В.Д. Пономарев, Д.А. Тараскин // Геолог. горн. дело: металлургия: сб. научн. тр. Казахского горно-металлург. ин-та. – М., 1989. – № 16. – С. 51–55.
28. Шахин, Х. Очистка воды электрокоагуляцией: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Х. Шахин. – Киев: КИСИ, 1999. – 134 с.
29. Способ очистки природных вод: пат. РФ № 2121979, кл. С 02 F 1/463 / В.А. Чантурия, Г.П. Двойченкова, Э.А. Трофимова. – Оpubл. 20.11.98. – Бюл. № 32.
30. Ганбаров, Э.С. Совместное применение электрохимических и сорбционных методов очистки воды / Э.С. Ганбаров // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – № 6. – С. 25–31.

Материал поступил в редакцию 12.01.10

#### STROKACH P.P., YALOVAJA N.P. Electroprecipitation preparation of natural waters

The technological features electroprecipitation of clearing of natural waters are considered. The characteristics electrocapacity with various design features and modes of operation are given. The advantages and lacks of designs of devices for electroprecipitation are proved. The conditions for prevention passivation of electrodes are considered.

УДК 628.16

**Житенев Б.Н., Андрюк С.В.**

### ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ИОНООБМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА

**Введение.** Большое количество ионообменных установок, введенных в промышленность в последние годы, привело к резкому увеличению расхода кислот и щелочей, используемых для регенерации ионитовых смол, в то время как экономическая эффективность применения процесса ионного обмена определяется, в основном, затратами на регенерацию. Для снижения этих затрат необходимо обоснованно определить основные технологические параметры проведения процесса регенерации.

Если до сих пор не разработана теория процессов регенерации, позволяющая обоснованно рассчитать наиболее эффективные режимы проведения процесса, то на практике определились два способа, позволяющие несколько снизить расход регенерирующих средств: ступенчатая регенерация и использование уже отработанных растворов – «возвратов» [1]. Ступенчатая регенерация и отмывка [2] заключаются в чередовании быстрого заполнения фильтра регенерирующим раствором (в процессе регенерации) или водой (в

**Житенев Б.Н.,** к.т.н., доцент, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

**Андрюк С.В.,** старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.