

УДК 669.713.7

## РАЗЛОЖЕНИЕ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ПОДШЛАМОВЫХ ВОД МЕТОДОМ МЕМБРАННОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА

Н. В. Васюнина<sup>1</sup>, И. В. Дубова<sup>1</sup>, К. Е. Дружинин<sup>2</sup>, Т. Р. Гильманшина<sup>1</sup>, О. Ю Шубкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, РФ

<sup>2</sup>ООО “Индаст-ПРО”, г. Красноярск, РФ

\*e-mail: gtr1977@gmail.com

Поступила в редакцию 08.04.24

После доработки 30.10.24

Принята к публикации 04.12.24

В статье анализируется возможность применения мембранного электролиза для переработки слабых алюминатных растворов (подшламовой воды) с целью их концентрирования и кастификации. Для проведения испытаний применялась трехкамерная ячейка с гетерогенными катионообменными мембранными МК-40, в качестве материалов катода и анода использован титановый сплав ВТ1-0. Мембранный электролиз проводили при межполюсном расстоянии, равном 3–5 см и плотности тока – 0.5–3.0 А/дм<sup>2</sup> с получением катодного (более концентрированный раствор каустической щелочи) и анодного растворов (опресненный раствор), а также анодного шлама (представленного в основном гидроксидом алюминия). Выбраны оптимальные режимные параметры процесса концентрирования алюминатного раствора методом мембранного электролиза: плотность тока около 2 А/дм<sup>2</sup> при межполюсном расстоянии, составляющем 4 см. При данных режимных параметрах рабочее напряжение на ячейке устанавливается через 40–45 мин на уровне 24 В, при этом удельный расход энергии растет от 13.5 до 17.5 кВт·ч/кг щелочи. Определено, что содержание соды в растворе в течение часа снижается с 55 до 25–30% при различных режимных параметрах процесса мембранного электролиза. Степень концентрирования общей щелочи в растворе при выбранных режимных параметрах процесса через час от начала мембранного электролиза доходит до 1.40–1.45.

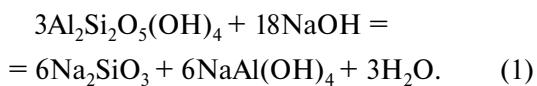
**Ключевые слова:** мембранный электролиз, подшламовые воды, концентрирование щелочных растворов, кинетика процесса концентрирования, электродиализная ячейка, алюминатные растворы

**DOI:** 10.31857/S2218117224060098, **EDN:** MAEIOR

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в результате большинства производственных процессов (включая производство бумаги, кожи, искусственного волокна, полиграфию, крашение, гальваническое покрытие металлов и переплавку) образуются большие потоки слабощелочных растворов [1, 2], которые в последствие нуждаются в дальнейшей нейтрализации, очистке либо (что оптимально) являются оборотными при условии их предварительной подготовки. Металлургическая промышленность является одним из основных источников образования таких щелочных растворов, и здесь одну из ведущих позиций занимает глиноземное производство. На сегодняшний день основным способом промышленного получения глинозема является щелочной, который имеет различные модификации (способы Байера, спекания и разные их комбинации), суть

которого в любом случае сводится к растворению богатых глиноземом минералов (таких как боксит) в горячем щелочном растворе [4], например:



В результате протекания реакции (1) с последующей фильтрацией пульпы образуются алюминатный раствор, направляемый далее на операции разложения (декомпозиции) с осаждением  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , и шламы, которые после промывки от щелочи горячей подшламовой водой в сгустителях, фильтруются, репульпируются холодной подшламовой водой и откачиваются на шламовые поля. Жидкая фаза пульпы отвального шлама (подшламовая вода) после отстаивания на шламовой поле системами водозабора подается к насосной станции подшламовой воды и возвращается

в технологический процесс для промывки шлама, используется для гидротранспорта шлама и для других целей.

На АО “Русал Ачинск” подшламовую воду используют в качестве газоочистного раствора на системах очистки отходящих газов печей спекания, что способствует достижению сразу нескольких целей: снижение выбросов углекислого газа и диоксида серы, уменьшению потоков подшламовой воды и их концентрированию [5]. Однако в результате использования подшламовой воды в качестве газоочистного раствора на печах спекания происходит фактически карбонизация этих растворов, и процент соды в растворе на выходе из газоочистной установки увеличивается более чем в два раза.

Но даже несмотря на различные направления использования потоков подшламовой воды в глиноземном производстве часто создается ситуация, когда образуется большое количество слабощелочных растворов, которые являются обратными, однако объем их образования может значительно превышать потребление. Большое количество таких растворов представляет опасность для экологической обстановки в районе размещения производства, приводит к дополнительным расходам на обустройство шламовых полей и на плату экологических штрафов.

Известно множество способов очистки или концентрирования таких щелочных растворов (нейтрализация, обратный осмос, фильтрация и т.д.) и одним из перспективных способов представляется электродиализный метод. Исследованиями в области электродиализа занимаются многие научные коллективы в России и в мире. Традиционный электродиализ (ЭД) – это современный процесс, который применяется более 50 лет назад в крупном промышленном масштабе [6], и нередко представляется перспективным и современным высокоэффективным методом переработки, как с экономической, так и экологической точек зрения [7]. ЭД широко используется для разделения или концентрирования кислот, оснований, солей или органических ионов [8–10]. Кроме того, электродиализ оказался одним из немногих, а иногда и единственным методом, позволяющим осуществлять непрерывное, малореагентное селективное извлечение ионных примесей из растворов.

Электродиализ – электромембранный процесс, представляющий собой направленный перенос ионов растворенного вещества через ионоселективные проницаемые мембранны под действием электрического тока. Электродиализ исторически развился как метод опреснения воды и позже стал применяться для очистки сточных вод, регенерации технологических растворов, очистки гальваностоков [11].

В глиноземном производстве метод электродиализа, как правило, предлагается для концентрирования алюминатных растворов с их последующим разложением. Дело в том, что наиболее продолжительным переделом в методе Байера является процесс декомпозиции алюминатных растворов, а в методе спекания – их карбонизация. Процедура разложения алюминатного раствора является сложной и дорогостоящей и потребляет большое количество энергии. Перспектива дальнейшего развития алюминиевой промышленности предопределена развитием комплексной переработки исходного сырья, снижением потребления электроэнергии, повышением эффективности основных процессов, снижением вредного воздействия на окружающую среду [12]. Поэтому для разделения в щелочных растворах весьма желательны более чистые и энергоэффективные средства. Внедрение технологий, которые позволят уменьшить продолжительность процесса декомпозиции алюминатного раствора, приведет к значительному экономическому эффекту и росту общей производительности глиноземного предприятия, кроме того получение из таких растворов концентрированной каустической щелочи и осадка – гидроксида алюминия – позволило бы получить дополнительную прибыль.

В работах [13, 14] предложен метод разложения концентрированных алюминатных растворов электродиализом, получены кинетические кривые электродиализного разложения и показана возможность концентрирования растворов до 150 г/л и выше при сохранении скорости концентрирования. Для концентрирования слабых алюминатных авторами определена оптимальная плотность тока 350–400 А/м<sup>2</sup>. Исследования были проведены с использованием двухкамерной электродиализной установки с возможностью подключения без и с циркуляционным контуром. Полупроницаемыми перегородками, разделяющими емкость на две камеры (анодную и катодную по 250 мл каждая), служили мембранны МК-40. Катодным материалом служила сталь 08Х18Н10Т, обладающая повышенной коррозионной стойкостью. В качестве материала анода был выбран титан. В работе [15] изучено применение электродиализа совместно с аэроционной отмыткой от красного шлама, основного побочного продукта процесса Байера. В исследовании было обнаружено, что сочетание аэрационной промывки и электродиализа эффективно дляdealкализации красного шлама. Аэрация способствовала dealкализации во время процесса промывки, поскольку аэрация повышала эффективность смешивания за счет увеличения площади контакта между щелочной жидкостью и водой. Процесс электродиализа, проводимый в условиях аэрации, привел к улучшению отделения OH<sup>-</sup> от нерастворимого осадка, к более эффективному извлечению

NaOH в раствор и отделению NaAl(OH)<sub>4</sub> из щелочного раствора. Кроме того, аэрация снизила требования к энергопотреблению электродиализной системы за счет уменьшения загрязнения мембранны. Система электродиализнойdealкализации была разделена на две части: в верхней располагался блок электродиализа, а в нижней – блок регулировки и камеры хранения воды. Катионообменная мембрана (JCM-II-07), анионообменная мембрана (JAM-II-07) компании Beijing Jierui Environmental Science and Technology Co., Ltd. (Пекин, Китай) и электродные рутенизированные титановые пластины (эффективная площадь: 180 см<sup>2</sup>) располагались в электродиализном устройстве поочередно, образуя тем самым анодную камеру, камеру концентрации, камеру разбавления и катодную камеру соответственно. В камерах концентрирования и разбавления располагались аэрационные трубы.

Коллективом авторов [7, 16] щелочной алюминатный раствор, содержащий NaOH и NaAl(OH)<sub>4</sub>, разделяют методом электродиализа, при котором в качестве анионообменной (АЭМ) используется коммерческая мембраны АЕМ FQB [7] и мембрана АМ-QP-30 собственного производства [16]. Конфигурация пакета мембран оптимизирована для выбора трех повторяющихся блоков для работы в течение 180 мин. Авторами отмечено, что характеристики электродиализа более стабильны при более низком энергопотреблении при использовании мембранны АМ-QP-30. В то же время авторы отмечают, что для масштабного применения необходимы дальнейшие исследования, включая разработку мембран с более высокой стабильностью и селективностью для достижения высокой и долгосрочной эффективности разделения.

В работе [17] проведен электродиализ алюнитового шлама и промывных растворов гидроксида алюминия, полученных при переработке алюнитовой руды. Исследовано извлечение кислоты и щелочи из процесса электродиализа, а также условия затвердевания полученных щелочи и кислоты. В экспериментах использовался электродиализный аппарат PC Cell 64004, а также биполярные, анионные, катионообменные мембранны. Исследования показывают, что при электродиализе раствора сульфата натрия, если в начальных опытах удается получить 3–4%-ный раствор гидроксида натрия, в опытах по загущению щелочи концентрацию щелочи можно увеличить до 5%.

В работе [18] электродиализ и электроэлектродиализ объединяются для отделения NaOH от раствора алюмината натрия. Электроэлектродиализ (ЭЭД) представляет собой комбинацию электролиза и электродиализа с катионно- или анионообменной мембранный. ЭЭД использовался при производстве кислот и регенерации NaOH из отработанной щелочи. Учитывая характеристики процессов электродиализа и электроэлектродиализа,

их сочетание может принести дополнительные преимущества при разделении раствора алюмината натрия. На предварительном этапе можно использовать ЭД для быстрого разделения раствора и непосредственного восстановления ионов OH<sup>-</sup> без необходимости электролиза H<sub>2</sub>O. После этого ЭЭД можно использовать для дальнейшего разделения для достижения высокого выхода OH<sup>-</sup> и низкого выхода Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>. Сочетание ЭД и ЭЭД может обеспечить как высокую эффективность очистки, так и низкую утечку Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>, а также низкое потребление энергии.

Изучение вопросов научно-практического использования электродиализа в промышленности, в настоящее время, является крайне актуальны. В настоящей работе рассматривается возможность применения электродиализа в глиноземном производстве для переработки слабых алюминатных растворов. Из растворов со слабой концентрацией щелочи методом электродиализа можно получить более концентрированный щелочной раствор с его одновременной каустификацией, который можно вновь использовать в технологическом процессе, выделить гидроксиды алюминия и галлия в анодный шлам, фактически проводя операцию “довыкручивания” раствора, а также снизить объемы подшламовой воды на производстве. При работе на карбонизированной подшламовой воде можно предположить возможность существенной ее каустификации в результате проведения электродиализа.

Целью работы являлось определение влияния различных режимных параметров процесса мембранных электролиза, таких как продолжительность, плотность тока и межполюсное расстояние на степень концентрирования и ее каустификацию в катодной камере пробы слабощелочной подшламовой воды, отобранный на выходе из газоочистной установки печи спекания АО “Русал Ачинск”.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования по концентрированию алюминатных растворов методом мембранных электролиза проводились на подшламовой воде АО “Русал Ачинск”, отобранный на выходе из газоочистки агломерационной печи, усредненный состав – общая щелочь 18.15 г/л, едкая щелочь 8.15 г/л, сода 55 масс. % от общей щелочи, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.7 г/л.

Исследования проводили в лабораторных условиях на экспериментальной установке, имеющей две диафрагменные перегородки, которые разделяют ячейку на три камеры (рис. 1). Рабочие камеры экспериментальной установки собраны из полиметилметакрилата ( оргстекла), который склеивался дихлорэтаном (ClCH<sub>2</sub>–CH<sub>2</sub>Cl). Размеры ячейки 220×115×100 мм. В качестве источника постоянного тока использовался линейный источник

АКИП-1115, оснащенный цифровой индикацией силы тока и напряжения. Источник питания позволяет проводить эксперименты при силе тока от 0 до 60 А и настраивать как силу тока, так и напряжение. В качестве материала катода и анода использован титановый сплав BT1-0. Площадь поверхности электродов – 195 см<sup>2</sup>. Во внешних камерах установлены аноды, во внутренней камере – катод. Мембранный электролиз проводили при межполюсном расстоянии, равном 3–5 см и плотности тока – 0.5–3 А/дм<sup>2</sup> с получением катодных (концентрированный раствор каустической щелочи) и анодного (гидроксид алюминия и опресненный раствор) продуктов.

В ячейке используются гетерогенные катионообменные мембранны МК-40 (производитель “Щекиноазот”, Россия), содержащие сульфонатные фиксированные группы, мембрана МК-40 изготовлена методом горячего вальцевания из полиэтилена низкого давления и гранул катионообменной смолы КУ-2-8, имеющих линейные размеры от 3 до 30 мкм. Высокая степень стойкости мембран данного вида в щелочной среде делает их пригодными для использования в глиноземной промышленности.

В ячейку экспериментальной установки заливали алюминатный раствор определенного объема. Заранее подготавливали катионообменные мембранны, выдерживанием 30 мин в дистиллированной воде при комнатной температуре. Межполюсное расстояние устанавливали фиксацией электродов. Электроды подключали к источнику тока. В процессе мембранных электролиза через каждые 15 мин отбирали пробы для анализа, проводили замер температуры. Плотность тока поддерживали регулированием силы тока и напряжения. Отобранные пробы анализировали на общую, карбонатную и каустическую щелочность, содержание оксида алюминия и сульфатов.

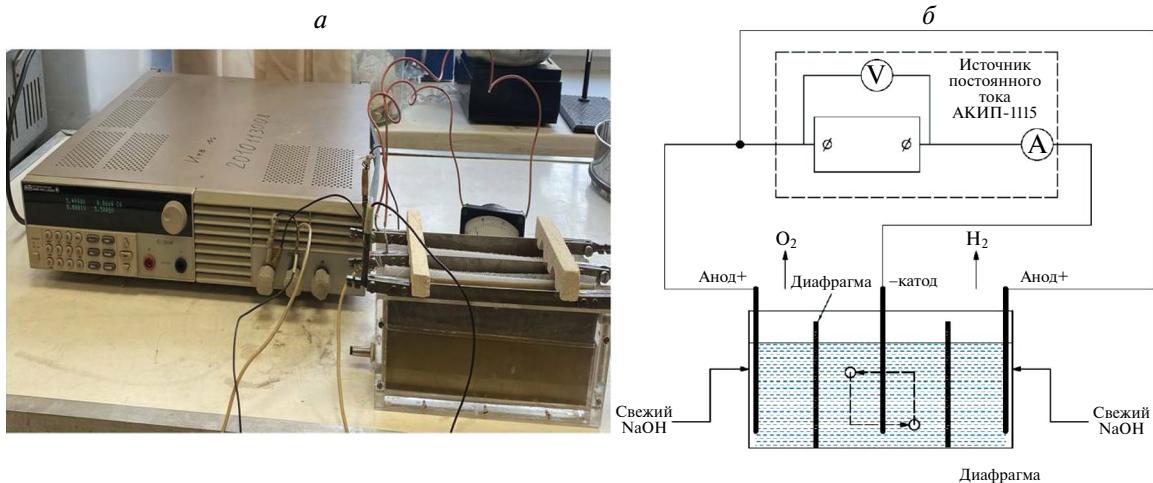


Рис. 1. Внешний вид (а) и схема подключения (б) экспериментальной ячейки [19].

Для анализа составов подшамовой воды в процессе мембранных электролиза применяли химический титриметрический метод, общую, каустическую и карбонатную щелочность определяли согласно ГОСТ 31957, содержание оксида алюминия ГОСТ 2642.4.

Удельную электропроводность растворов измеряли с помощью моста переменного тока (WTW, Германия), плотность – ареометрами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определены плотность и удельная электропроводность пробы ПШВ АО “Русал Ачинск” (табл. 1). Уровень электропроводности ПШВ при 25°C составил 0.3 См/см.

Таблица 1. Свойства пробы ПШВ АО “Русал Ачинск”

Температура, T, °C	Плотность ρ, g/cm <sup>3</sup>	dρ/dT, 10 <sup>3</sup>	Удельная электропроводность χ, См/см	dχ/dT, 10 <sup>3</sup>
25	1.065	-0.6	0.295	6.71

Определено, что изменение плотности тока и межполюсного расстояния (МПР) влияет на степень каустификации и концентрирования растворов (рис. 2).

Как видно из рис. 2, при уменьшении плотности тока менее 1 А/дм<sup>2</sup> процесс фактически не идет, при этом скорость перехода ионов  $\text{Na}^+$  из анодной камеры в катодную слишком низка при любом выбранном МПР.

Очевидно, что для увеличения полноты концентрирования необходимо увеличение плотности тока и уменьшение толщины диффузационного

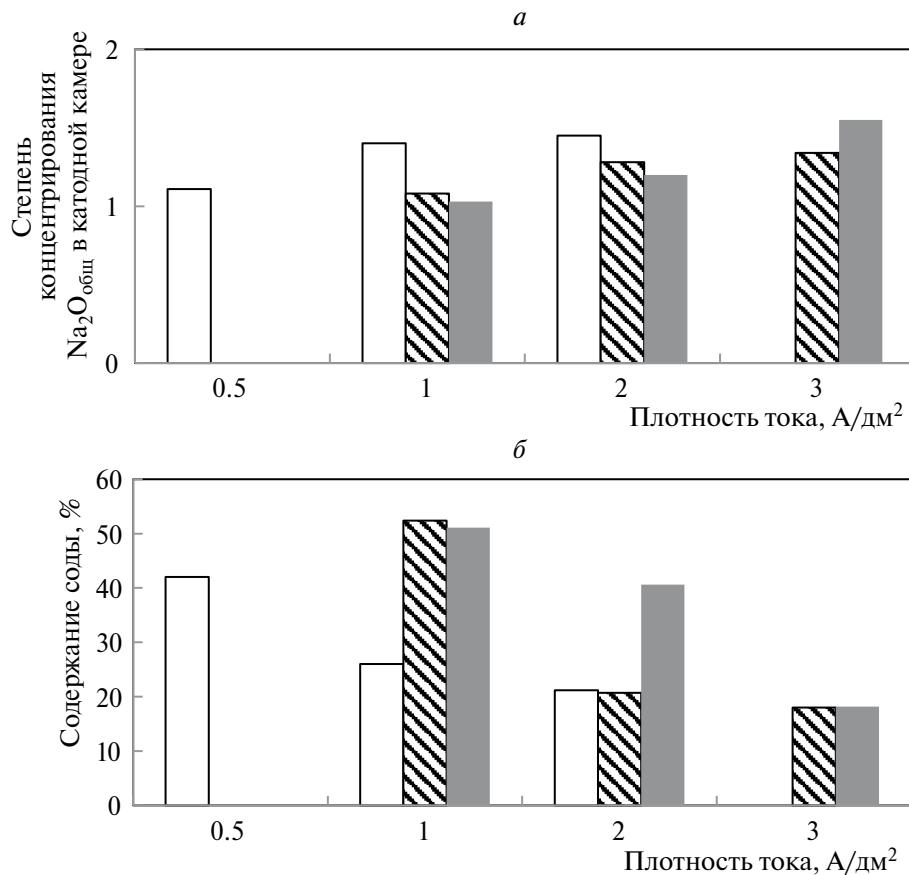


Рис. 2. Степень концентрирования (а) и процент соды (б) в анодном и катодном пространстве при различных параметрах процесса. Межполюсное расстояние, см: 3 – □; 4 – ▨; 5 – ■.

пограничного слоя. Однако при плотности тока равной 3 А/дм<sup>2</sup>, особенно при большом МПР, равном 5 см, в процессе мембранныго электролиза наблюдается сильное вспенивание раствора в анодной камере, происходит резкий рост рабочего напряжения на ячейке (через 40 минут от начала процесса рабочее напряжение на ячейке поднимается выше 30 В), как следствие, температура раствора к концу процесса достигает выше 85°C (при начальной температуре 22.3°C). Сильный нагрев раствора при плотности тока 3 А/дм<sup>2</sup> снижает сроки работы мембран, ведет к перерасходу электроэнергии, к избыточному испарению воды с открытой поверхности, что серьезно усложняет технологию.

Таким образом, в изученных режимных параметрах мембранныго электролиза плотность тока, равная 3 А/дм<sup>2</sup> фактически приближается к предельной. Известно, что ограничение плотности тока связано с явлением *концентрационной поляризации*, возникающей на ионитных мембранах. Суть этого явления заключается в том, что движение ионов через мембрану под действием электрического тока идет быстрее, чем в растворе, что приводит к падению концентрации около принимающей

стороны мембраны и к повышению концентрации около отдающей стороны. Существует такая плотность тока, называемая предельной, при которой концентрация переносимого иона около принимающей стороны мембраны снижается до 0 и начинается перенос ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ , образовавшихся при электролизе воды. Этот процесс вызывает перерасход электроэнергии, не снижая солесодержания воды, и приводит к изменению pH среды, что может вызвать образование осадков на мембранах. Возможно некоторое повышение значения рабочей плотности тока выше предельного значения, если применить технологии реверсивного и импульсного электродиализа, что существенно снижает ограничения, связанные с опасностью осадкообразования в данном процессе.

При уменьшении межполюсного расстояния менее 3 см в анодной и катодной зонах образуются застойные области раствора с большой концентрацией и вязкостью, увеличивается толщина диффузационного пограничного слоя, что резко повышает величину катодной поляризации и усложняет ведение процесса. При увеличении межполюсного расстояния выше 5 см вследствие низкой удельной электропроводности слабощелочных растворов

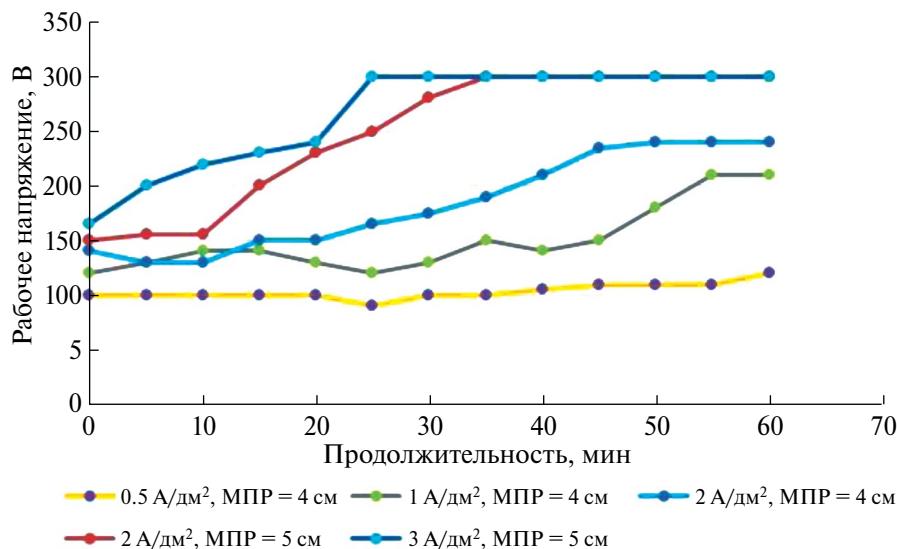


Рис. 3. Рабочее напряжение на ячейке.

наблюдается чрезмерное падение напряжения в межполюсном пространстве, что, как следствие, приводит к резкому росту температуры электролита (выше 80°C) и повышению расхода электроэнергии.

Степень концентрирования общей щелочи в растворе при выбранных режимных параметрах процесса через час доходит до 1.40–1.45. Содержание соды в растворе при протекании процесса в течение часа снижается с 55 до 25–30% при плотности тока 2–3 А/дм<sup>2</sup>.

Рабочее напряжение на ячейке (рис. 3) увеличивается в течение всего эксперимента вследствие постепенного роста диффузионных ограничений и доходит до 30 В и свыше (предельное выходное напряжение на используемом источнике тока).

Оптимальная плотность тока при концентрировании подшламовой воды АО “РУСАЛ Ачинск” составляет около 2 А/дм<sup>2</sup> при МПР, равном 4 см. Рабочее напряжение на ячейке при данных режимных параметрах устанавливается через 40–45 мин на уровне 24 В, при этом удельный расход энергии растет от 13.5 до 17.5 кВт·ч/кг щелочи.

## ВЫВОДЫ

В работе рассматривается возможность проведения каустификации и концентрирования слабощелочных подшламовых вод глиноземного производства (с концентрацией общей щелочи менее 20 г/л) методом мембранныго электролиза. Экспериментально подтверждена возможность концентрирования слабощелочных растворов глиноземного производства с помощью ионообменных мембран отечественного производства. Оптимальными режимными параметрами процесса являются: плотность тока около 2 А/дм<sup>2</sup> при МПР,

составляющем 4 см. Рабочее напряжение на ячейке при данных режимных параметрах устанавливается через 40–45 мин на уровне 24 В, при этом удельный расход энергии растет от 13.5 до 17.5 кВт·ч/кг получаемой щелочи. В результате содержание соды в растворе в течение часа снижается с 55 до 25–30%, степень концентрирования общей щелочи в растворе через час доходит до 1.40–1.45.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cassano A., Molinari R., Romano M., Drioli E. Treatment of aqueous effluents of the leather industry by membrane processes: a review, *J. Membr. Sci.* 181 (2001) 111–126.
2. Qin J.J., Oo M. H., Wai M. N., Ang C.-M., Wong F. S., Lee H. A dual membrane UF/RO process for reclamation of spent rinses from a nickel-plating operation — a case study, *WaterRes.* 37(2003)3269–3278.
3. Milaćić R., Zuliani T., Šćančar J. Environmental impact of toxic elements in red mud studied by fractionation and speciation procedures, *Sci. Total Environ.* 426 (2012)359–365.
4. Smith P. The processing of high silica bauxites — review of existing and potential processes, *Hydrometallurgy* 98(2009)162–176.
5. Дружинин К.Е., Васюнина Н.В., Немчинова Н.В., Гильманшина Т.Р. Очистка отходящих газов печей спекания с использованием подшламовой воды в качестве газоочистного раствора. *Экология и промышленность России.* 2020. Т. 24. № 3. С. 4–9.
6. Strathmann H. Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications, *Desalination* 264 (2010) 268–288.

7. Yan H., Wu C., Wu Y. "Separation of alumina alkaline solution by electrodialysis: Membrane stack configuration optimization and repeated batch experiments," Separation and Purification Technology 139, 78–87 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.11.004>
8. Haydarov A. A. et al. Obtaining of alkaline from aluminate solution by electrodialysis method // Azerbaijan Chemical Journal. 2023. № 2. С. 154–162.
9. Yuzer B. et al. Optimal performance of electrodialysis process for the recovery of acid wastes in wastewater: Practicing circular economy in aluminum finishing industry //Chemical Engineering Journal. 2022. Т. 434. С. 134755.
10. Липин А. Г., Липин А. А. Концентрирование раствора нитрата аммония в электромембранным аппарате // Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование. 2019. С. 11–13.
11. Быков В. И. и др. Электродиализ: история и перспективы развития //Вестник технологического университета. 2021. Т. 24. № 7. С. 5–10.
12. Hu B., Mu Z. D. "Treatment of wastewater from alumina plant by electrodialysis," IOP Conf. Ser.: Earth Env. Sci. 295 (3), 1–6 (2019). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/295/3/032090>
13. Lainer Y. A., Gorichev I. G., Todorov S. A. Aluminum hydroxide nucleation kinetics and mechanism during the electrodialysis decomposition of aluminate solutions // Russian Metallurgy (Metally). 2008. Т. 2008. С. 301–305.
14. Vetchinkina T. N., Tuzhilin A. S., Balmaev B. G. Decomposition and Concentration of Aluminate Solutions by Electrodialysis // Russian Metallurgy (Metally). 2022. Т. 2022. № 12. С. 1511–1517.
15. Yaxian Zhang, Qi Shia, Muxi Luoa, Hongtao Wang, Xuejiao Qia, Chia-Hung Houd, Fengting Lia, Zisheng Aie, Jose Tacares Araruna Junior. Improved bauxite residue dealkalization by combination of aerated washing and electrodialysis // Journal of hazardous materials. 2019. Т. 364. С. 682–690. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.10.023>
16. Yan H., Wu C., Wu Y. Separation of alumina alkaline solution by electrodialysis: Membrane stack configuration optimization and repeated batch experiments // Separation and Purification Technology. 2015. Т. 139. С. 78–87.
17. Иванов А.А. Электропроводность водных растворов кислот и гидроксидов // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 1989. Т. 32 (10). С. 13–16.
18. Машина А. Н., Артемкина Ю. М., Щербаков В. В. Температурная зависимость энергии активации электропроводности водных растворов сильных электролитов // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. 31. № 4 (185). С. 49–51.
19. Васюнина Н.В., Дубова И.В., Дружинин К.Е., Гильманшина Т.Р. Концентрирование слабощелочных алюминатных растворов методом электродиализа // Цветные металлы. 2024. № 4. С. 9–14.

## Decomposition and Concentration of Sludge Water by Membrane Electrolysis

N. V. Vasyunina<sup>1</sup>, I. V. Dubova<sup>2</sup>, K. E. Druzhinin<sup>2</sup>, T. R. Gilmanshina<sup>1</sup>, O. Yu. Shubkina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

<sup>2</sup>LLC "Indust-PRO", Krasnoyarsk, Russian Federation

\*e-mail:

The article discusses the possibility of using electrodialysis for processing weak aluminate solutions for the purpose of causticization and obtaining strong alkaline solutions is being studied. A three-chamber electrodialysis cell of our own design is described. The cell uses heterogeneous cation exchange membranes MK-40; titanium alloy VT1-0 is used as the cathode and anode material. Electrodialysis was carried out at an inter polar distance of 3–5 cm and a current density of 0.5–3.0 A/dm<sup>2</sup> to obtain cathodic (concentrated caustic alkali solution) and anodic (aluminum hydroxide and desalinated solution) products. The optimal operating parameters for the process of electrodialysis concentration of an aluminate solution were selected – the current density is about 2 A/dm<sup>2</sup> with an the inter polar distance of 4 cm. It was determined that the soda content in the solution within an hour decreases from 55 to 25–30% at various operating parameters of the electrolysis process. The degree of concentration of total alkali in the solution at the selected process parameters after an hour reaches 1.40–1.45.

**Keywords:** electrodialysis, sludge water, concentration of alkaline solutions, electrodialysis cell, aluminate solutions, kinetics of concentration by electrodialysis