

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт химии и экологии

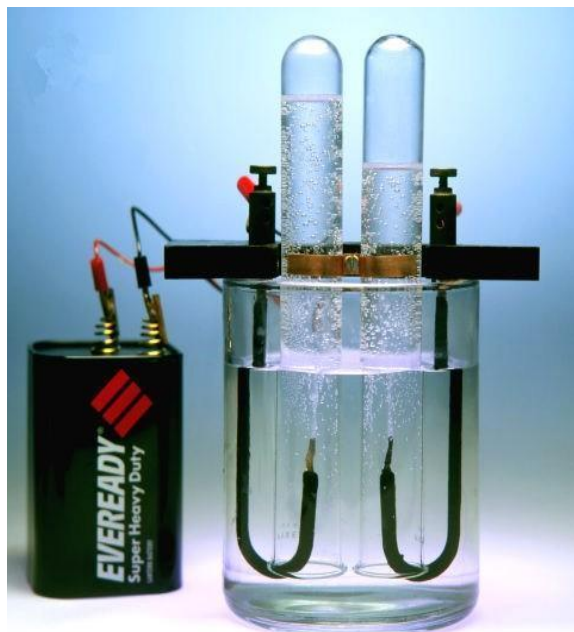
Кафедра технологии неорганических веществ и
электрохимических производств

И. Ю. МИХАЙЛОВА

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

Презентации курса лекций

Киров, 2017





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

УДК 66.087 (07)
М 69

Рекомендовано к изданию методическим советом института химии и экологии ФГБОУ ВО «ВятГУ» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению 18.03.01 «Химическая технология», профиля подготовки 18.03.01.06 «Технология неорганических веществ» всех форм обучения

Рецензент: зав кафедрой НифХ ФГБОУ ВО «ВятГУ»,
кандидат химических наук Ю. Н. Ушакова

Михайлова, И. Ю.

М 69 Электрохимические технологии неорганических веществ. **Учебное пособие** – Киров: ФГБОУ ВО «ВятГУ», 2017. – 69 слайдов.

УДК 66.087 (07)

Презентации курса лекций по дисциплине «Электрохимические технологии неорганических веществ» предназначены для студентов, обучающихся по направлению 18.03.01 «Химическая технология», профиля подготовки 18.03.01.06 «Технология неорганических веществ» всех форм обучения



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Краткая информация о курсе

- ☐ Лекции – 18 ч;
- ☐ Лабораторные занятия – 36 ч (6 шести часовых);
- ☐ Контрольные точки (тесты, **экзамен**);
- ☐ Допуск к экзамену – выполнение всех лабораторных работ, расчетного задания и тестов.

Тематический план курса

- ❖ Электролиз без выделения металлов (ЭБВМ) (получение водорода электролизом воды; хлора и каустической соды; кислородсодержащих соединений хлора; пероксида водорода, перманганата калия; диоксида марганца).
- ❖ Получение металлических порошков (теоретические основы электроосаждения металлов; получение медных порошков).
- ❖ Гидрометаллургия и электролиз расплавов (производство цинка, меди, никеля, алюминия и циркония).

Учебная литература

1. Прикладная электрохимия : учеб. / Р. И. Агладзе [и др.]; под ред. А. П. Томилова. - 3-е изд., перераб. – М. : Химия, 1984. – 520 с.
2. Электрохимические технологии неорганических веществ. Учебно-методическое пособие / И. Ю. Михайлова, В. И. Мамаев. – Киров: ФГБОУ ВО «ВятГУ», 2016. – 69 с.
3. Флеров В.Н. Сборник задач по прикладной электрохимии. Учеб. пособие для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1987. – 319 с.

Модуль «Электролиз без выделения металлов» – методические разработки доцента кафедры ТЭП Ковязиной Людмилы Иосифовны.

Модуль «Гидрометаллургия и частично электролиз расплавов» – методические разработки доцента кафедры ТЭП Мамаева Владимира Ивановича.

Преимущества и недостатки электрохимического способа получения химических продуктов

Преимущества электрохимического способа получения веществ по сравнению с химическим способом:

1. Легко варьировать потенциал электрода, создавая тем самым условия, при которых в максимальной степени развивается нужная реакция и подавляются побочные.
2. Возможность достижения такого высокого окислительного или восстановительного потенциала, что становятся возможными реакции, которые не протекают, если для окисления и восстановления используются химические вещества.
3. Поскольку зоны окислительных и восстановительных реакций можно разделить диафрагмой, в электролизере удастся получать одновременно два или больше продуктов.
4. Не происходит загрязнения конечных веществ продуктами воздействия химических окислителей и восстановителей.
5. Более простая по сравнению с химическим способом схема производства.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Недостатки:

1. *Большой удельный расход электроэнергии* ($W_{уд}$). Несмотря на то, что выход по току (ВТ) обычно высокий (90 – 98 %), коэффициент полезного использования электрической энергии на проведение процесса, как правило, ниже (50 – 65 %). Это связано с тем, что напряжение на ванне U_e значительно выше напряжения разложения $E_{нр}$:

$$U_e = E_{нр} + \eta_a + |\eta_k| + \Delta U_{эл-т} + \Delta U_{\partial} + \Delta U_{эл-\partial} + \Delta U_k.$$

2. *Единичная мощность электролизеров обычно невелика* по сравнению с мощностями химических реакторов. Электрохимические процессы протекают на поверхности электродов – их специфическая особенность, поэтому производительность электрохимических аппаратов пропорциональна поверхности электродов в аппарате и токовой нагрузке. Развитие поверхности электродов связано с увеличением геометрических размеров аппаратов.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Выбор метода производства (электрохимического или химического)

Обычно разрабатывается и используется несколько методов получения продукта, но преимущественно используется метод, оптимальный по сумме технико-экономических показателей.

Электрохимические методы более экономичны в производстве хлора и щелочи, хлоратов и перхлоратов, перманганата калия. В производстве пероксида водорода электрохимический метод во многих зарубежных странах вытеснен наиболее экономичными химическими методами.

Водород для производства синтетического аммиака вначале получали электролизом воды. Успехи в области получения водорода из природного газа и углеводородсодержащего сырья привели к тому, что в настоящее время применяют водород, полученный химическими методами.

В последние годы электрохимические методы используют для обессоливания морской воды, очистки промышленных стоков, в производстве полимерных материалов, лекарственных препаратов, лакокрасочной промышленности и др.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Общие требования к выбору материала электрода при ЭБВМ

Электроды – основные конструктивные элементы электролизеров – наиболее сложная и дорогостоящая их часть.

От устройства электродов зависит напряжение на ванне и расход электроэнергии на процесс электролиза, направление и селективность протекания электродных процессов.

- ☐ Материал электродов по электрохимическим характеристикам должен соответствовать проводимому процессу: основной процесс должен протекать с минимальным перенапряжением, а побочный – с максимальным.
- ☐ Высокая химическая (при перерывах в процессе электролиза), так и электрохимическая стойкость, от них зависят продолжительность эксплуатации электролизера, затраты на его ремонт и обслуживание.
- ☐ Высокие электропроводность и механические свойства (возможность изготовления электрода необходимой геометрической формы и размеров).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Материалы электродов при ЭБВМ

Материал катода – обычная сталь, которая при катодной поляризации достаточно стойка во многих электролитах. Лишь в сильно кислых электролитах (H_2SO_4 при получении $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$) используют графит.

Наибольшие трудности возникают при выборе **материала анода**, не только из-за высокой коррозионной активности анолита, но и способности анода растворяться (окисляться) при поляризации.

Например, в процессе электролиза воды, где используются щелочные электролиты, в качестве анодов применяют сталь, покрытую никелем. В большинстве же электролитов наибольшей стойкостью при анодной поляризации обладают платина и ее сплавы с иридием, родием. До сих пор в производстве перхлоратов, хлорной и пероксодвусерной кислот в качестве анода применяется платина. В производстве хлора и щелочи электролизом хлорида натрия платину сначала заменил графит, а затем – оксидно-рутениево-титановый анод (ОРТА).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Требования к конструкции электродов при ЭБВМ

- ❖ Обеспечение достаточно развитой поверхности для интенсификации процесса и создания компактных электролизеров.
- ❖ Обеспечение максимального сближения катода и анода и равенства межэлектродного расстояния по всей поверхности с достаточной точностью.
- ❖ Обеспечение отвода газов от поверхности электродов и внутренней циркуляции электролита.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Получение водорода электролизом воды

Электропроводность чистой воды мала: водопроводной близка к 10^{-1} , а дистиллированной – $4 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$. Для увеличения электропроводности, т.е. уменьшения расхода электроэнергии добавляют кислоты, щелочи и соли.

Требования к электролиту

- ☐ Такой ионный состав, чтобы на катоде выделялся только водород, а на аноде – кислород (H_2SO_4 , KOH, NaOH, Na_2SO_4).
- ☐ Высокая электропроводность (кислота > щелочи > соли).
- ☐ Невысокая стоимость и доступность.
- ☐ Малая агрессивность.

Растворы щелочей менее электропроводны, чем кислоты, но в них простые конструкционные материалы (сталь 3) вполне устойчивы. При использовании H_2SO_4 необходимы коррозионно-стойкие материалы для изготовления электродов, например, свинец. Однако, их использование приводит к повышению напряжения на ванне за счет высокого перенапряжения выделения водорода и кислорода на свинце.

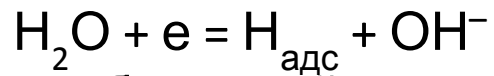


ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

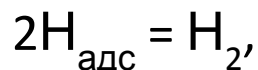
Теория процесса электролиза воды

При промышленном получении водорода применяют растворы щелочей.

На катоде в щелочных растворах разряжаются молекулы воды:



с последующей рекомбинацией атомов водорода по каталитическому:



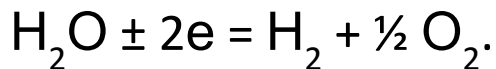
либо электрохимическому механизмам:



На аноде выделяется кислород по реакциям:



Суммарная реакция в электролизере:



Остальные ионы раствора Na^+ , K^+ , ионы примесей принимают участие в переносе тока, но на электродах не разряжаются.

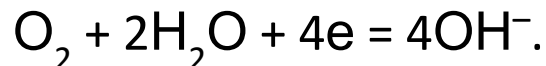
На практике катод, спустя некоторое время работы, покрывается слоем губчатого железа за счет восстановления ионов железа



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Побочные реакции при электролизе воды

Для электролиза применяют чистый щелочной электролит, приготовленный на дистиллированной воде из реактивов марки «ч». Поэтому единственной побочной реакцией в электролизере является восстановление растворенного кислорода:



Потенциал этой реакции положительнее потенциала реакции выделения водорода, однако, вследствие малой концентрации растворенного кислорода в электролите, скорость этой реакции ограничена.

Обычно электролизеры работают с $\text{ВТ}_\text{к} = 97 - 98 \%$ с учетом утечек тока.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Напряжение на ванне и факторы его определяющие

Напряжение на ванне $U_{\text{в}}$ – сумма падений напряжения на всех последовательных участках прохождения электрического тока через ванну:

$$U_{\text{в}} = E_{\text{теор}} + \eta_{\text{а}} + |\eta_{\text{к}}| + \Delta U_{\text{эл-т}} + \Delta U_{\text{д}} + \Delta U_{\text{эл-д}} + \Delta U_{\text{к}},$$

где $E_{\text{теор}}$ – теоретическое напряжение разложения;

$\eta_{\text{а}}$ и $\eta_{\text{к}}$ – перенапряжения анодного и катодного процессов;

$\Delta U_{\text{эл-т}}$ – падение напряжения в электролите;

$\Delta U_{\text{д}}$ – падение напряжения в диафрагме;

$\Delta U_{\text{эл-д}}$ – падение напряжения в электродах;

$\Delta U_{\text{к}}$ – падение напряжения в контактах.

Напряжение на электролизере определяет расход энергии при электролизе, позволяет рассчитать $W_{\text{уд}}$ (удельный расход электроэнергии – расход энергии на производство единицы продукции), выбрать источник тока, рассчитать количество *джоулева тепла* – одну из составляющих теплового баланса электролизера.

Анализ составляющих баланса напряжения позволяет оценить возможности его снижения путем влияния на отдельные составляющие.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Теоретическое напряжение разложения

Теоретическое напряжение разложения – термодинамическая характеристика электрохимической системы, мало зависит от условий электролиза.

Величину $E_{теор}$ рассчитывают как разность равновесных потенциалов анодной и катодной реакций, каждый из которых вычисляется по уравнению Нернста. При электролизе воды:

$$\begin{aligned}\varepsilon_p^a &= 1,23 - 0,059pH; & \varepsilon_p^k &= -0,059pH. \\ E_{теор} &= E_p^a - E_p^k = 1,23 \text{ В при давлении } H_2 \text{ и } O_2 = 1 \text{ атм.}\end{aligned}$$

Другой способ расчета $E_{теор}$ по термодинамическим данным:

$$E_{теор} = \frac{\Delta G}{zF}$$

где ΔG – изменение изобарно-изотермического потенциала (энергии Гиббса) в суммарном процессе при электролизе.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Перенапряжени е

Перенапряжение – отклонение потенциала электрода под током от его равновесного значения ($\eta = E_i - E_p$) – сильно зависит от условий электролиза: материала электрода, состояния его поверхности, температуры, плотности тока. Для определения численных значений величин перенапряжений при рабочих плотностях тока и температурах используют справочные данные, либо поляризационные кривые, либо уравнение Тафеля.

При получении водорода для снижения перенапряжения катодного и анодного процессов катод изготавливают из металла с низким перенапряжением выделения водорода (сталь), а анод – с низким перенапряжением выделения кислорода (никель или никелированная сталь).

Перенапряжение выделения водорода снижается в ряду:

Pb Sn Zn Cu Ag Fe Ni W Pd Pt.

Перенапряжение выделения кислорода снижается в ряду:

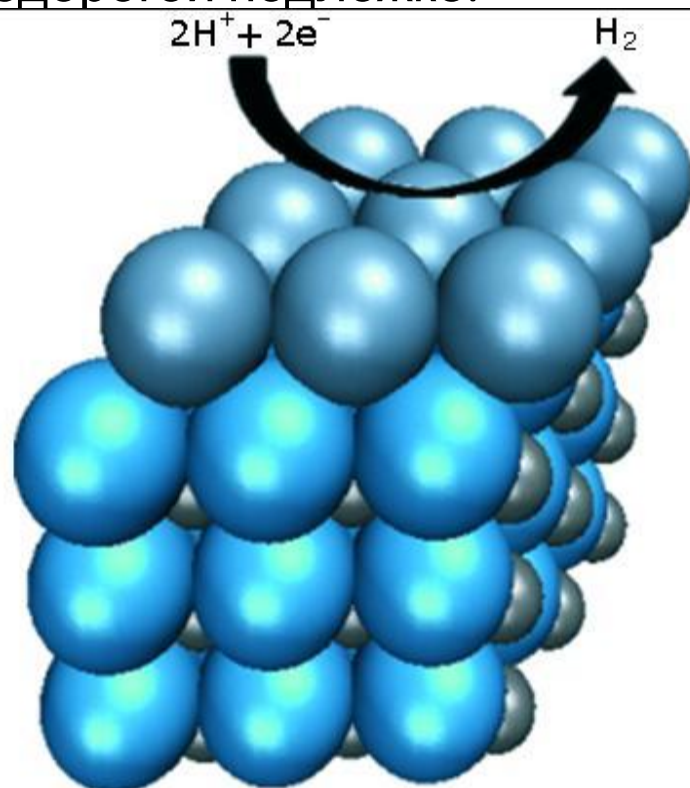
Pt Au Pb Cd Ni Fe Co.

Проведение электролиза при повышенной температуре также снижает перенапряжение (2–3 мВ на 1 °С).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Идеальный катодный катализатор – платина, на ней самое низкое перенапряжение выделения водорода. Один грамм платины стоит более 50 долларов, поэтому расходуют ее максимально экономно. Один из способов экономии – создание тонкого слоя платины на недорогой подложке.



Карбид вольфрама — относительно недорогой материал, по своим характеристикам напоминающий платину. Тонкие слои карбида вольфрама (синие шарики – углерод, маленькие серые – вольфрам) располагают на вольфрамовом основании (не показано), а сверху, путём осаждения из паровой фазы, создают монослой платины. Свойства такого монослоя мало отличаются от свойств платинового электрода.



Падение напряжения в электролите

Падение напряжения в электролите рассчитывается по формуле:

$$\Delta U_{\text{эл-т}} = \frac{i_{cp} \cdot l}{\chi_t} K_z,$$

где i_{cp} – средняя плотность тока в электролите;

l – расстояние между электродами;

χ_t – удельная электропроводность электролита при температуре электролиза;

K_z – коэффициент газонаполнения ($K_z > 1$).

Средняя плотность тока в электролите определяется как среднее геометрическое анодной и катодной плотностей тока:

$$i_{cp} = (i_a \cdot i_k)^{0,5}.$$

Снижение падения напряжения в электролите достигается максимальным уменьшением межэлектродного расстояния, выбором концентрации электролита, нахождением оптимальной температуры электролиза, конструкцией электродов, а также применением наиболее электропроводящих фоновых электролитов (NaOH или KOH).



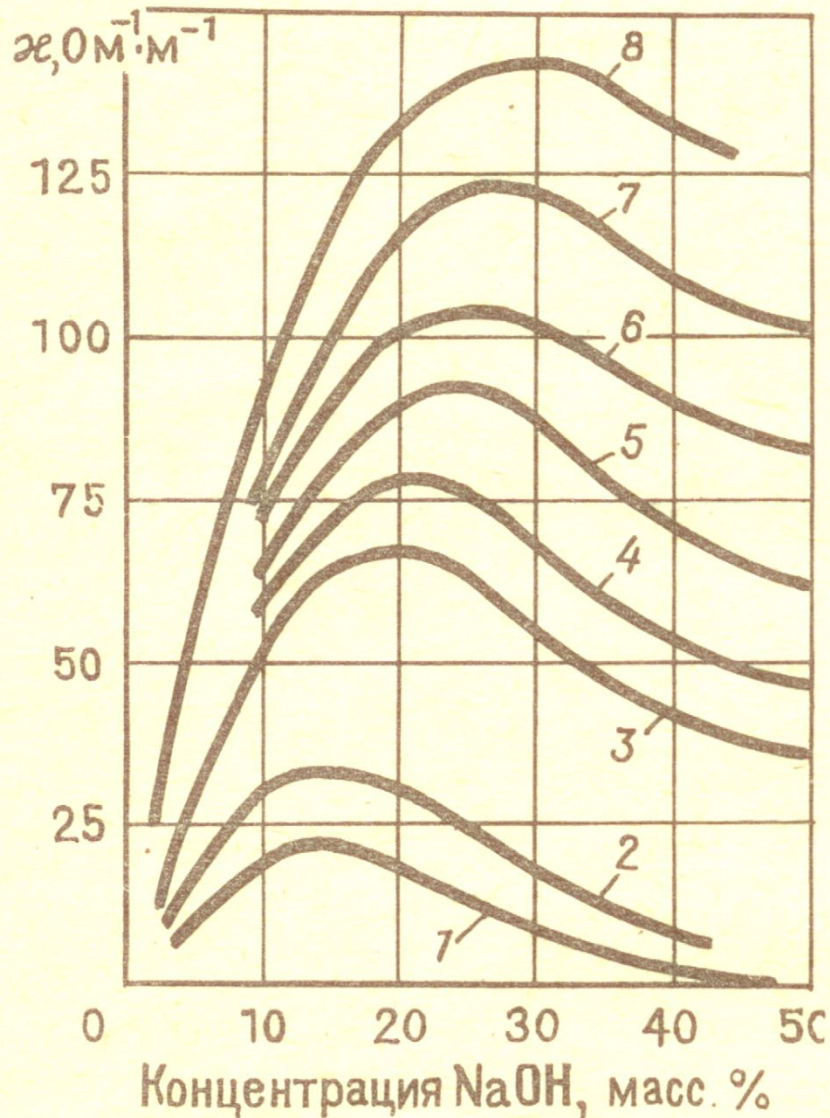
ВЯТСКИЙ

Зависимость удельной электропроводности NaOH от концентрации

Температура (°C):

1 – 0; 2 – 18; 3 – 50; 4 – 60; 5 – 70;
6 – 80; 7 – 90; 8 – 100.

Удельная электропроводность щелочи при повышении концентрации вначале увеличивается, достигает максимума и затем, при дальнейшем увеличении концентрации, уменьшается. Такой ход зависимости объясняется снижением подвижности ионов в концентрированных растворах вследствие увеличения вязкости растворов и взаимодействия противоположно заряженных ионов между собой.





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Выбирают концентрацию электролита немного меньше максимума удельной электропроводимости (22–25 % NaOH или 32–36 % KOH).

При увеличении температуры удельная электропроводность электролита повышается. Электролиз проводят при максимально возможных температурах, если при этом не уменьшается выход по току и по веществу.

Сопротивление электролита существенно возрастает в присутствии газовых пузырьков, образующихся на электродах и поднимающихся в электролите.

Коэффициент газонаполнения K_g учитывает повышение удельного сопротивления электролита за счет газонаполнения.

Газонаполнение электролита зависит от соотношения скоростей образования и роста газовых пузырьков на электродах, отвода и отделения их от электролита.

Газонаполнение возрастает с увеличением плотности тока, высоты электродов, вязкости электролита и при сокращении расстояния между электродами.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Газонаполнен ие

Если основной электродный процесс – выделение газа, газонаполнение может достигать десятков процентов.

Основной метод снижения газонаполнения – создание конструкций электродов, обеспечивающих быстрый отвод образующихся газов из межэлектродного пространства (применение выносных перфорированных электродов), а также применение принудительной циркуляции электролита.

Повышение температуры снижает газонаполнения за счет уменьшения вязкости электролита, и повышает – за счет увеличения объема пузырьков газов. Оптимальная температура процесса электролиза воды 70–80 °С.

Уменьшение межэлектродного расстояния снижает напряжение на ванне за счет уменьшения падения напряжения в электролите, но увеличивает его за счет увеличения газонаполнения. Оптимальное межэлектродное расстояние 10 мм.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Падение напряжения в диафрагме

Падение напряжения в диафрагме определяется не только свойствами электролита в порах диафрагмы, но и характеристиками диафрагмы. Для расчета падения напряжения в диафрагме используется формула:

$$\Delta U_{\partial} = \frac{\delta_{\partial} \cdot \beta^2}{S \cdot \chi_t \cdot \Pi},$$

где I – ток (А);

S – площадь диафрагмы (м²);

δ_{∂} – толщина диафрагмы (м);

χ_t – удельная электропроводность электролита (См · м⁻¹);

β – коэффициент извилистости пор (отношение длины поры к толщине диафрагмы);

Π – объемная пористость (отношение объема пор к объему диафрагмы).

Для приближенных расчетов ориентировочно принимают $\beta = 1,5$; $\Pi = 0,5$.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

При электролизе воды используют асбестовую диафрагму. В процессе работы за счет набухания асбестовых волокон увеличивается толщина диафрагмы, часть пор диафрагмы заполняется различными отложениями и пузырьками газа. И то и другое приводит к возрастанию сопротивления диафрагмы и потерям напряжения в ней. Кроме того, при увеличении толщины диафрагмы уменьшается свободное пространство между рабочей поверхностью электрода и диафрагмой, что влечет за собой повышение газонаполнения электролита.

Значением *падения напряжения в электродах* пренебрегают, если электроды изготовлены из металла с высокой электропроводностью. В противном случае расчет проводят по закону Ома.

Падение напряжения в контактах обычно принимают 0,05–0,1 В. Особенно малы эти потери в электролизерах с биполярными электродами, благодаря отсутствию соединений между электродами.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Напряжение на ванне

В процессе электролиза воды напряжение на ванне быстро увеличивается в первые 12–24 часа, затем медленно поднимается до некоторого значения, которое сохраняется постоянным на многие месяцы непрерывной работы. Такой характер изменений объясняется изменением состояния поверхности электродов в процессе электролиза, изменением состояния диафрагмы (забивка пор).

При отключении тока напряжение на электролизере падает, но не до нуля. Благодаря адсорбированному на электродах газу каждая ячейка представляет собой кислородно-водородный элемент. Электролизер, например, ФВ-500 состоит из 160–170 ячеек. Следовательно, после отключения тока напряжение на серии из четырех электролизеров равно

$$1,23 \times 160(170) \times 4 = 750 \text{ В.}$$

Для обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала на ваннах, отключенных для ремонтных работ, проводят деполяризацию электродов путем шунтирования.

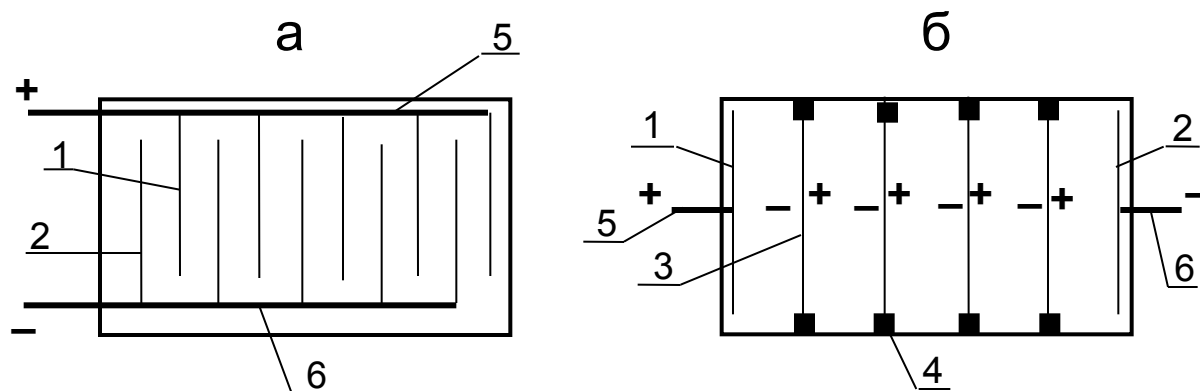


ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Конструкции электролизеров для электролиза воды

Электролизеры по схеме включения электродов разделяют на **монополярные и биполярные** (рис. 1).

Корпус монополярного электролизера – стальной ящик, изолированный от электродов. Первые конструкции биполярных электролизеров имели бетонный корпус, а современные биполярные электролизеры собраны из ячеек – аппараты фильтрпрессного типа.



$$I = I_{\text{яч}} \cdot n \quad U = U_{\text{яч}}$$

$$I = I_{\text{яч}} \quad U = U_{\text{яч}} \cdot n$$

Рис. 1. Схема монополярного (а) и биполярного (б) электролизеров:

1 – анод; 2 – катод; 3 – биполярный электрод; 4 – уплотнитель-изопятор; 5 – анодная шина; 6 – катодная шина



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Преимущества:

- Увеличение мощности за счет повышения токовой нагрузки и количества последовательно включенных ячеек, следовательно, сокращение производственных площадей.
- Нет потребности в шинах для передачи тока от одной ячейки к другой – удешевление ошиновки и сокращение потерь в ошиновке и в контактах.

Недостатки:

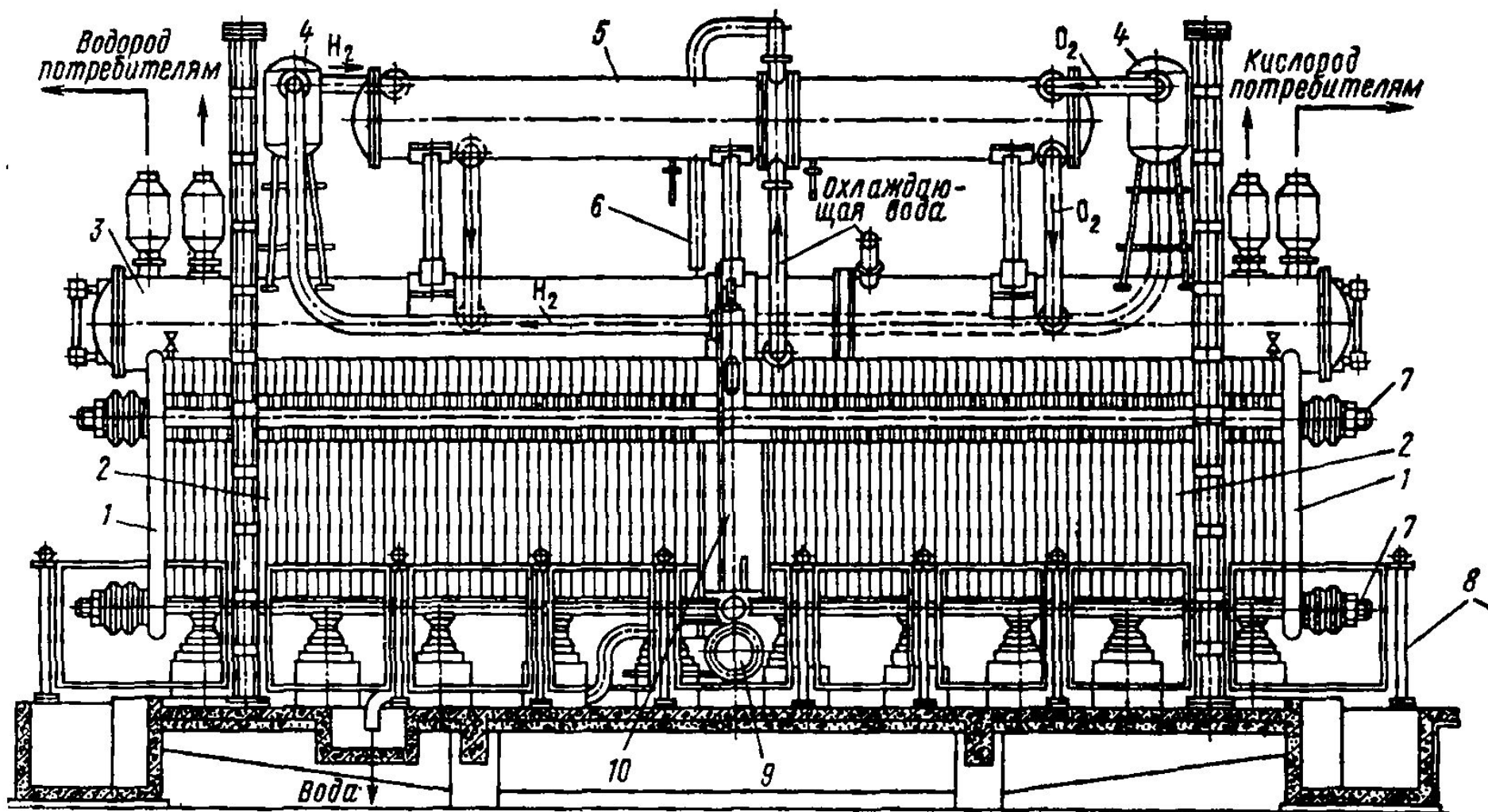
- Сложность конструкции, требующая высокой точности изготовления деталей электролизера.
- Сложный ремонт.
- Более высокая сложность оборудования требует более высокой квалификации обслуживающего персонала.

Наиболее распространен электролизер ФВ-500, работающий при атмосферном давлении, производительностью 500 м³/час водорода. Разработан в СССР в 30-х годах для производства азотных удобрений на основе синтетического аммиака.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Фильтрпрессный электролизер ФВ-500





Электролизер
ФВ-500



ВЯТСКИЙ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Электролизер

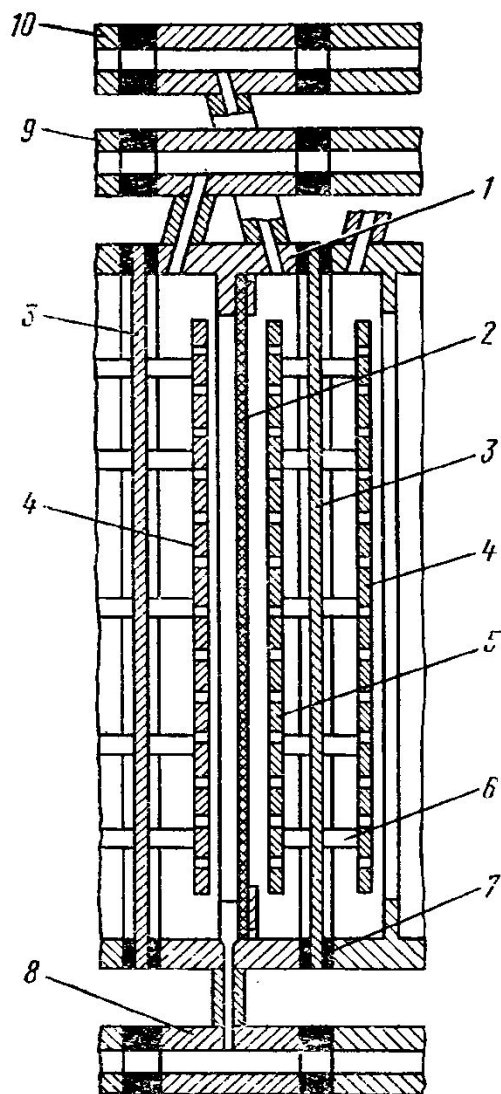
ФВ-500

Электролизер ФВ-500 – агрегат, включающий всю вспомогательную аппаратуру для первичной обработки (отделение газов от электролита, охлаждение и промывка газов), поддержания теплового, гидравлического, концентрационного режима электролизера, фильтрацию электролита. Все операции по обслуживанию автоматизированы.

Габариты: длина 12,95 м, ширина 2,6 м. Вес 97 т, в рабочем состоянии 138 т. Размеры электрода 1,65 × 2,3 м (основной лист). Электролизер собран из изолированных одна от другой и стянутых при помощи 4 стяжных болтов прямоугольных ячеек. Каждая ячейка электролизера состоит из диафрагменной рамы с закрепленной на ней диафрагмой, к которой с обеих сторон прилегают тройные биполярные электроды. Каждый биполярный электрод имеет основной лист, который служит стенками ячейки и выносные перфорированные листы, один из которых является анодом одной ячейки, а другой – катодом другой ячейки (рис. 2).



Ячейка фильтрпрессного электролизера

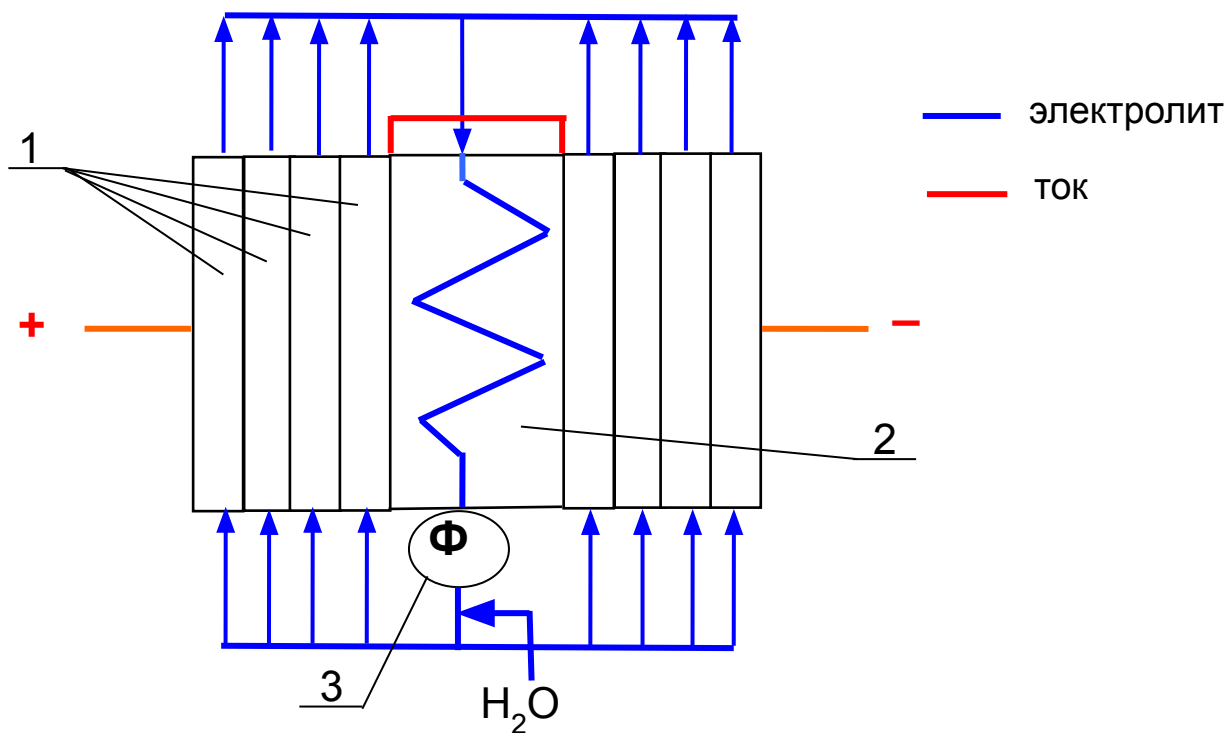


- 1 – диафрагменная рама;
- 2 – диафрагма;
- 3 – биполярный электрод (основной сплошной лист);
- 4 – выносной перфорированный лист биполярного электрода (катод);
- 5 – выносной перфорированный лист биполярного электрода (анод);
- 6 – анкер;
- 7 – паронитовая прокладка;
- 8 – канал для подачи электролита;
- 9 – коллектор для отвода электролита и водорода;
- 10 – коллектор для отвода электролита и кислорода.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Схема питания электролизера током и электролитом



1 – ячейки электролизера; 2 – средняя камера; 3 –
фильтр



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Электролизер ФВ-500

Средняя камера электролизера предназначена для охлаждения циркулирующего электролита, перемешивания и выравнивания концентрации щелочи в католите и анолите. В среднюю камеру вмонтирован теплообменник, в котором циркулирует охлаждающая вода. Камера снабжена горизонтальными перегородками удлиняющими путь электролита в межтрубном пространстве. Под камерой расположен фильтр для непрерывной фильтрации электролита.

Ячейки электролизера сообщаются между собой через систему подачи циркулирующего электролита. Она состоит из канала, идущего вдоль электролизера, от которого к каждой ячейке отходит питающий штуцер. Кроме того, ячейки соединяются газовыми каналами, которые частично заполнены электролитом.

Малые размеры электролизных ячеек и их предельно близкое взаимное расположение, а так же высокое общее напряжение на электролизере способствуют возникновению *утечек тока*.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Утечки тока

- Утечки тока из ячеек по штуцерам и вдоль каналов имеют два пути:
- ✓ по раствору;
 - ✓ по диафрагменным рамам, штуцерам и секциям каналов с включением их в электрохимические процессы в качестве биполярных электродов.

Для снижения утечек тока по электролиту в штуцерах и питающих каналах увеличивают его сопротивление, для чего увеличивают длину питающего канала и уменьшают его сечение.

При включении деталей электролизера (штуцеры, диафрагменные рамы и др.) в качестве биполярных электродов снижается выход по току кислорода и водорода и происходит взаимное загрязнение газов. Для уменьшения утечек тока такого рода используют изоляционные вставки в питающие каналы и штуцеры, секции каналов изготавливают из диэлектриков; диафрагменную раму футеруют.



Электролизер
УД-100



Электролизер СЭУ-20 (СЭУ-4М;