



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

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).



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## 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.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## **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.



### *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  $E_{нр}$ :*

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

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 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  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 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).
- 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  $\text{H}_2\text{SO}_4$  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.

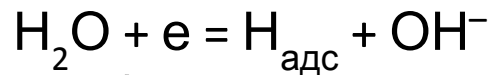


ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

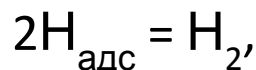
## Теория процесса электролиза воды

При промышленном получении водорода применяют растворы щелочей.

**На катоде** в щелочных растворах разряжаются молекулы воды:



с последующей рекомбинацией атомов водорода по каталитическому:



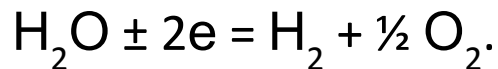
либо электрохимическому механизмам:



**На аноде** выделяется кислород по реакциям:



**Суммарная реакция в электролизере:**



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

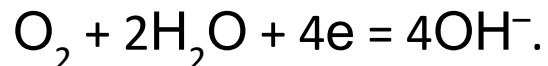
На практике катод, спустя некоторое время работы, покрывается слоем губчатого железа за счет восстановления ионов железа



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  $\text{ВТ}_k = 97 - 98 \%$  с учетом утечек тока.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Напряжение на ванне и факторы его определяющие

**Напряжение на ванне  $U_v$**  – сумма падений напряжения на всех последовательных участках прохождения электрического тока через ванну:

$$U_v = E_{теор} + \eta_a + |\eta_k| + \Delta U_{эл-т} + \Delta U_{\partial} + \Delta U_{эл-\partial} + \Delta U_k,$$

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

$\eta_a$  и  $\eta_k$  – перенапряжения анодного и катодного процессов;

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

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

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

$\Delta U_k$  – падение напряжения в контактах.

Напряжение на электролизере определяет расход энергии при электролизе, позволяет рассчитать  $W_{y\partial}$  (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  $\Delta G$  – изменение изобарно-изотермического потенциала (энергии Гиббса) в суммарном процессе при электролизе.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

## Перенапряжение

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).

## Перенапряжени

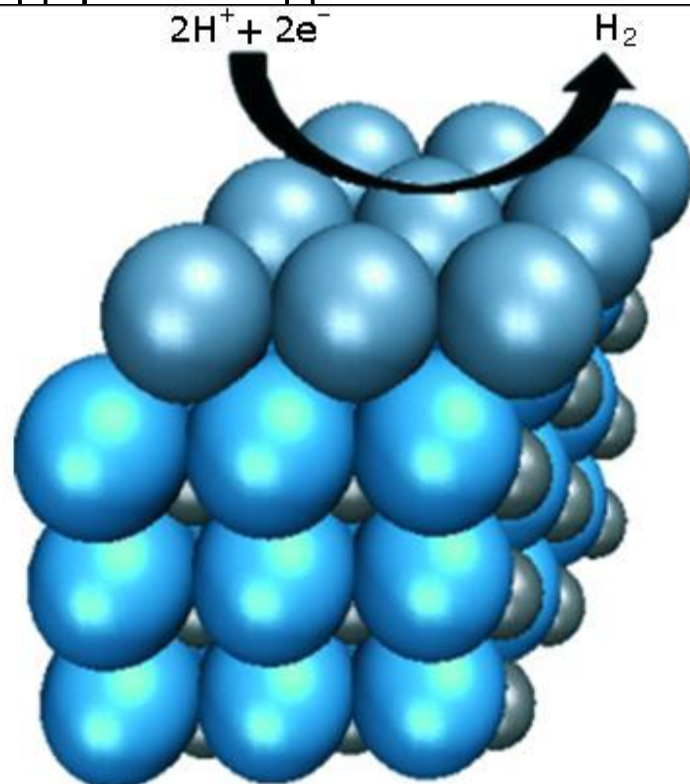
е





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;

$\chi_t$  – 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 КОН).



ВЯТСКИЙ

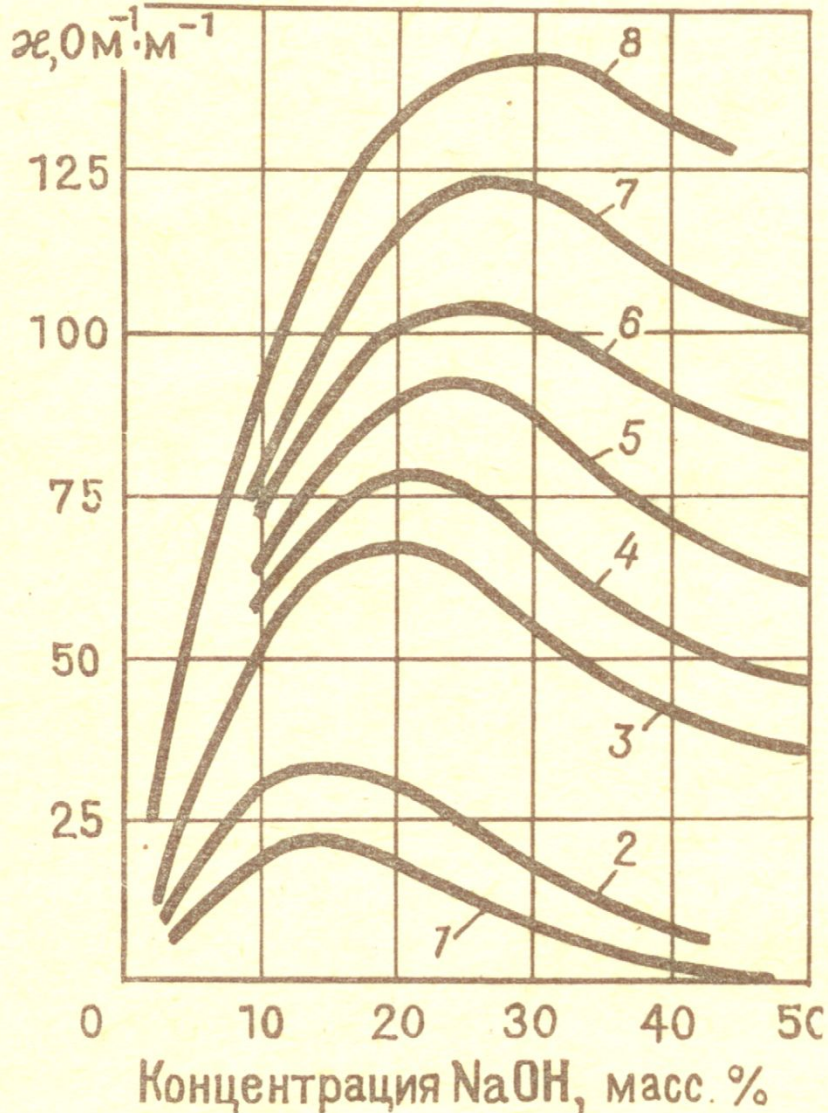
## Зависимость удельной электропроводности NaOH от

### 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

## 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:

$$\Delta U_{\text{д}} = \frac{\delta_{\text{д}} \cdot \beta^2}{S \cdot \chi_{\text{т}} \cdot \Pi},$$

где  $I$  – ток (А);

$S$  – площадь диафрагмы (м<sup>2</sup>);

$\delta_{\text{д}}$  – толщина диафрагмы (м);

$\chi_{\text{т}}$  – удельная электропроводность электролита (См · м<sup>-1</sup>);

$\beta$  – коэффициент извилистости пор (отношение длины поры к толщине диафрагмы);

$\Pi$  – 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.



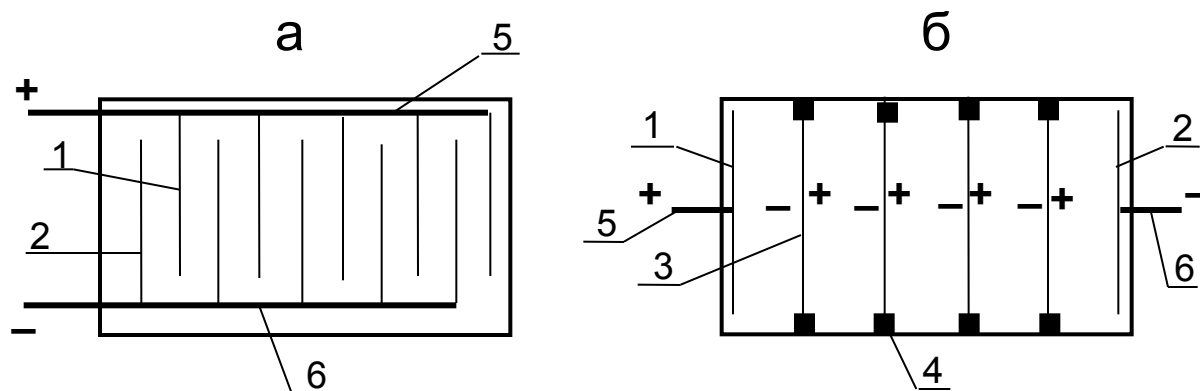


ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## 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-изоплятор; 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:*

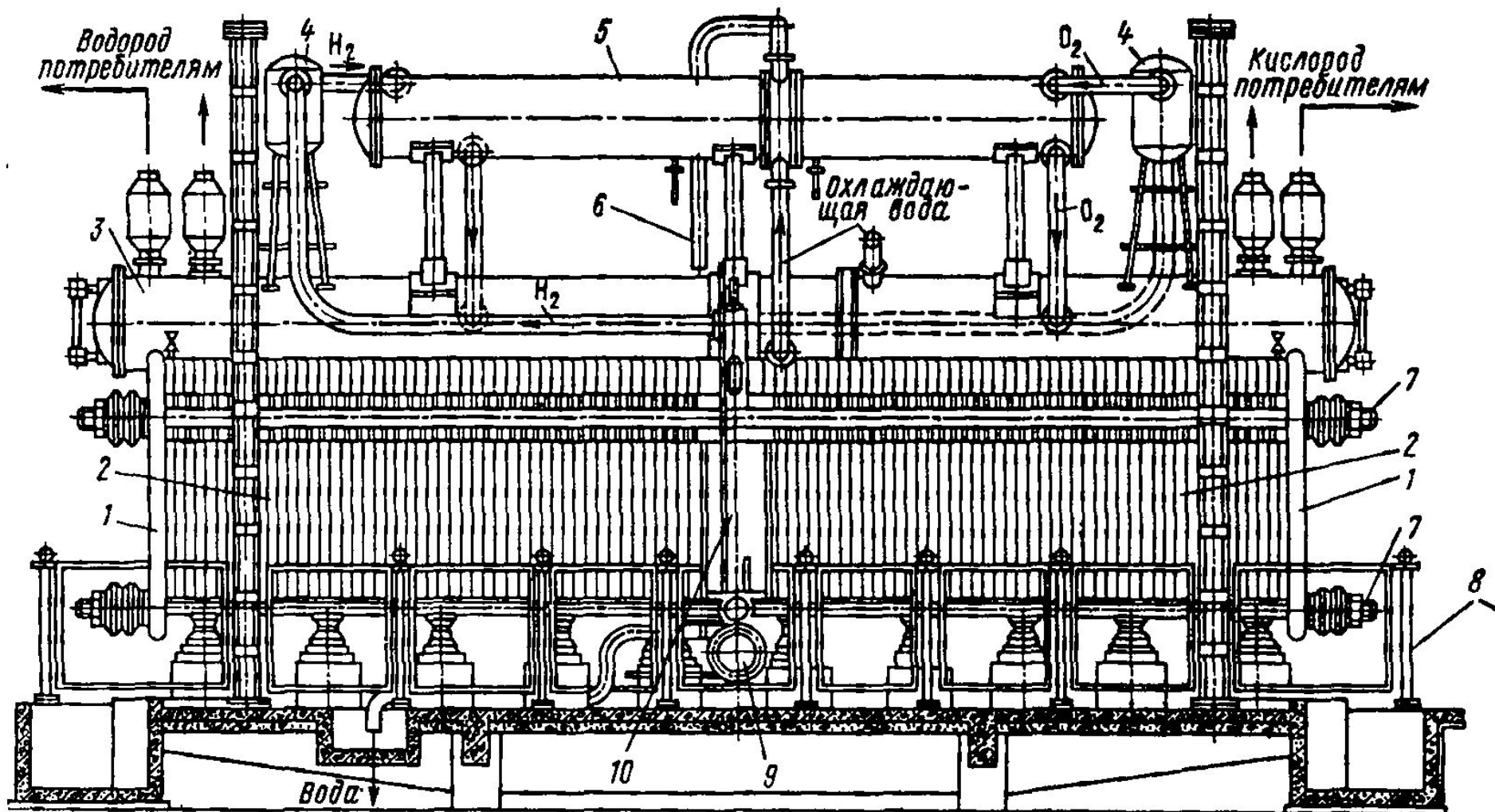
- Сложность конструкции, требующая высокой точности изготовления деталей электролизера.
- Сложный ремонт.
- Более высокая сложность оборудования требует более высокой квалификации обслуживающего персонала.

Наиболее распространен электролизер ФВ-500, работающий при атмосферном давлении, производительностью 500 м<sup>3</sup>/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

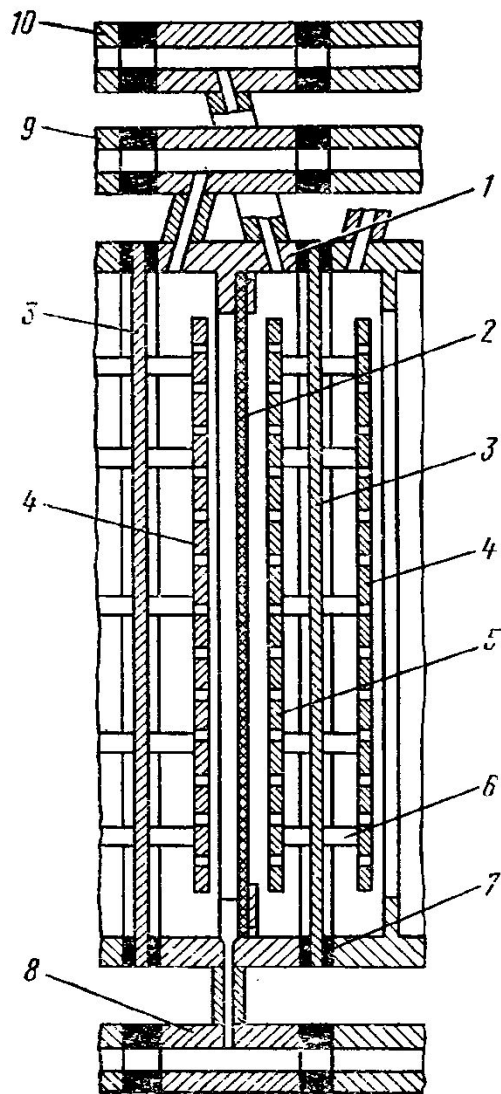
### ФВ-500

**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

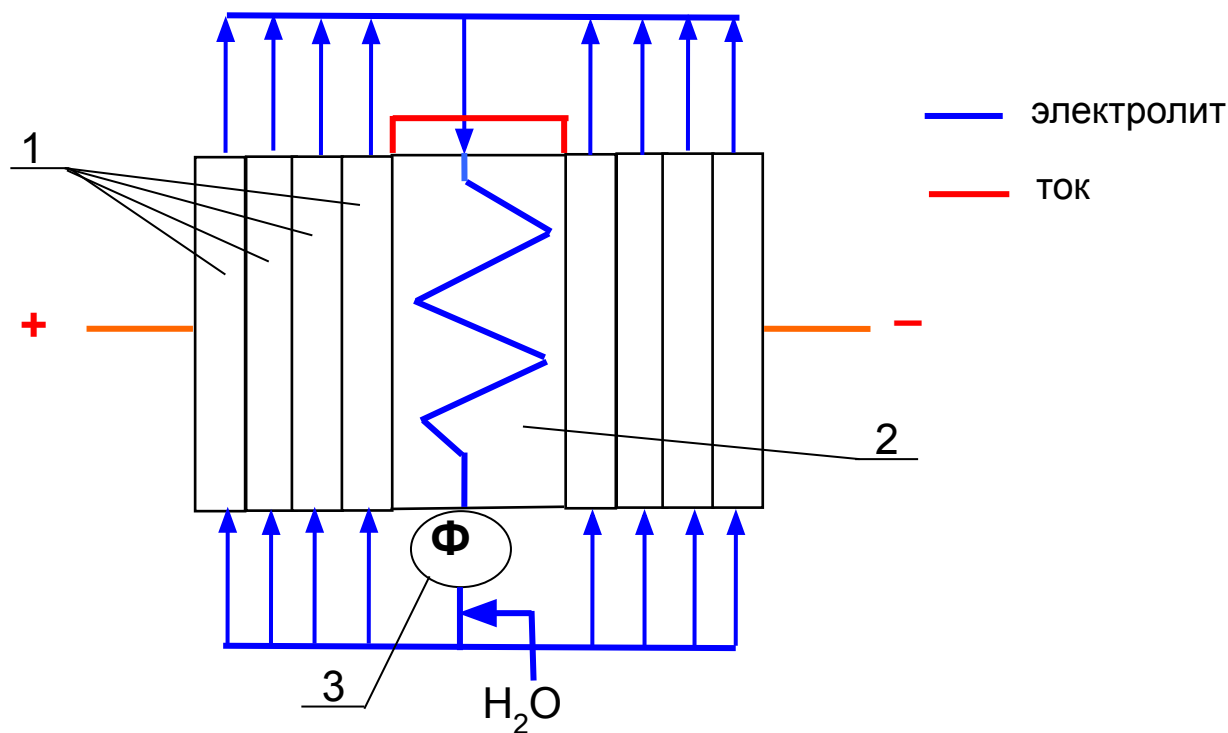


- 1 – диафрагменная рама;
- 2 – диафрагма;
- 3 – биполярный электрод (основной сплошной лист);
- 4 – выносной перфорированный лист биполярного электрода (катод);
- 5 – выносной перфорированный лист биполярного электрода (анод);
- 6 – анкер;
- 7 – паронитовая прокладка;
- 8 – канал для подачи электролита;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



Электролизер СЭУ-20 ( СЭУ-4М;