

**ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Т. Г. ШЕВЧЕНКО**

Естественно-географический факультет  
*Кафедра химии и методики преподавания химии*

# **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Учебно-методическое пособие

*Часть 2*

Контрольно-измерительные материалы

Тирасполь

*Издательство  
Приднестровского  
Университета*

2025

УДК 66.087(075.8)  
ББК Л35я73  
О75

*Составители:*

**Е. В. Бомешко**, канд. хим. наук, проф.

**Е. А. Яхова**, канд. хим. наук, доц.

*Рецензенты:*

**Т. В. Щука**, канд. хим. наук, доц., зав. каф. химии и методики преподавания химии естественно-географического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко

**В. Г. Звонкий**, канд. техн. наук, доц. зав. кафедрой автоматизированных технологий и промышленных комплексов инженерно-технического факультета ФТИ ПГУ им. Т. Г. Шевченко

**Основы электрохимических производств** : учебно-методическое пособие : в 2 ч. Ч. 2:  
О75 Контрольно-измерительные материалы [Электронный ресурс] / ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко» ; Естественно-географический факультет ; составители: Е. В. Бомешко, Е. А. Яхова. – Тирасполь : Изд-во Приднестр. ун-та, 2025. – 55 с.

Системные требования: CPU (Intel/AMD) 1,5ГГц/ОЗУ 2ГГб/HDD 450Мб/1024\*768/Windows 7 и старше/Internet Explorer 11/Adobe Acrobat Reader 6 и старше.

*В учебно-методическом пособии по спецкурсу «Основы электрохимических производств» представлены модульные контрольно-измерительные материалы; реферативно-исследовательские задания; тестовые задания итогового контроля обобщающего характера по всему курсу дисциплины; вопросы для подготовки к экзамену и ситуационные задачи к экзамену. В приложении представлен современный справочный материал, необходимый для успешного решения задач теоретического и прикладного характера.*

*Учебно-методическое пособие предназначено для студентов специальности 1.04.05.01. «Фундаментальная и прикладная химия» и специализации «Химическая технология», а также может быть использовано при подготовке студентов инженерных направлений и специальностей.*

УДК 66.087(075.8)  
ББК Л35я73

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ им. Т. Г. Шевченко

© Е. В. Бомешко, Е. А. Яхова, 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Введение</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 4  |
| 1. Модульные контрольно-измерительные материалы № 1 по главам: «Теоретические основы электрохимии. Электрохимия растворов электролитов», «Теоретические основы электрохимических технологий».....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 6  |
| 2. Модульные контрольно-измерительные материалы № 2 по главам: «Технологии электрохимического производства различных веществ. Электролиз водных растворов без выделения металлов», «Технологические основы производства металлов электролизом», «Электролиз расплавленных соединений. Особенности технологических процессов», «Основы гальванотехники: электролитическое получение металлических покрытий», «Химические источники тока», «Техника безопасности и охрана природной среды в электрохимическом производстве»..... | 8  |
| 3. Модульные контрольно-измерительные материалы № 3 по главам: «Электролиз расплавленных соединений. Особенности технологических процессов», «Основы гальванотехники: электролитическое получение металлических покрытий», «Химические источники тока», «Техника безопасности и охрана природной среды в электрохимическом производстве».....                                                                                                                                                                                  | 10 |
| 4. Реферативно-исследовательские задания по курсу «Основы электрохимических производств».....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 12 |
| 5. Тестовые задания итогового контроля обобщающего характера по всему курсу дисциплины «Основы электрохимических производств».....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 14 |
| 6. Вопросы для подготовки к экзамену по дисциплине «Основы электрохимических производств».....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 19 |
| 7. Ситуационные задачи к экзамену по дисциплине «Основы электрохимических производств».....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 21 |
| <b>Рекомендуемая литература</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 23 |
| <b>Приложения</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 25 |

## ВВЕДЕНИЕ

При создании данного пособия мы не пошли по пути переиздания ранее опубликованного пособия по электрохимическим производствам (2016 год). Дело в том, что развитие электрохимии за последние 20 лет привело к возникновению совершенно новых теоретических и прикладных направлений, а также новых концепций, относящихся к структуре электрохимических межфазных границ и закономерностям туннелирования заряженных частиц. Этому способствовало создание современных методов моделирования явлений и процессов в конденсированных ионных системах и на границе раздела фаз. Сегодня электрохимические явления изучаются на атомном уровне в фемтосекундных диапазонах ( $10^{-15}$  с), что позволило выйти на новый уровень понимания механизмов сложных электрохимических процессов.

Новые направления и методы исследований придали электрохимии фундаментальное значение и вывели её в самостоятельную область знаний. Электрохимия не только широко использует достижения других областей наук, но и сама служит фундаментом для понимания многих явлений в физике, химии, биологии.

Сам термин «электрохимия» объединяет в себе два вида явлений: электрические (направленное движение зарядов на расстояния, превышающие атомно-молекулярный уровень) и химические (перегруппировка заряженных частиц – атомных ядер и электронов, приводящая к появлению новых химических объектов). Как видим, химические и электрические процессы, строго говоря, неразделимы. Следовательно, понятие электрохимии как одного из разделов химической науки уже, чем это вытекает из самого термина.

Несмотря на то, что электрохимические процессы (процессы взаимопревращения химической и электрической форм энергии) подчиняются фундаментальным законам химии, однако с точки зрения их кинетики законы термодинамики не выполняются в электрохимических системах. Вот почему электрохимия рассматривается сегодня как самостоятельная область знания наряду с химией. Фундамент теоретической электрохимии составляют теория электролитов, электролитическая термодинамика и кинетика многостадийных межфазных процессов. С другой стороны, прикладная электрохимия основана на изучении электрохимической энергетики, создании принципиально новых видов технологий (в том числе и нано технологий), и новых источников электрической энергии, получении сверхчистых материалов и материалов функционального назначения.

Специальный курс «Основы электрохимических производств» является той конечной точкой изучения теоретических дисциплин по специальности «Фундаментальная и прикладная химия», которая позволяет студенту определить конкретную область применения своих компетенций. Электрохимические производства занимают в химической промышленности ведущее место и определяют научно-технический прогресс отрасли в целом. Главными отраслями применения электрохимических технологий являются:

- *электрометаллургия* – получение и очистка металлов с использованием электрической энергии методами электроэкстракции, электрорафинирования, электролиза растворов и расплавов;
- *гальванотехника* – получение металлических осадков методами гальваностегии или гальванопластики;
- *электросинтез* органических и неорганических химических веществ, газов, сложных композитов, твердых сплавов, полимерных и радиоактивных продуктов;
- *производство химических источников тока* – топливных батарей, аккумуляторов, сухих элементов;
- *электрохимическая размерная обработка* преимущественно жаропрочных и твердых сплавов;
- *хемотроника* – создание элементов электронных схем и приборов, работающих на принципах микрогальванических пар и выполняющих роли диодов, интеграторов, датчиков давления или температуры и т. п.;
- *электрохимический контроль и анализ* – методами потенциометрии, кулонометрии, полярографии, вольтамперометрии, кондуктометрии и др.;
- *защита от коррозии* путем нанесения устойчивых покрытий или оксидных пленок гальваническими методами или электрополированием;
- *электрохимическая экология* – очистка сточных вод, переработка отходов производства с использованием электрохимических методов обработки жидких, твердых и газообразных систем.

Направления практического применения электрохимических технологий быстро развиваются и совершенствуются.

Специальный курс «Основы электрохимических производств» предназначен не только для студентов специальности 1.04.05.01. «Фундаментальная и прикладная химия», специализации «Химическая технология», но и для студентов инженерных специальностей, постигающих азы энергетики и новых источников её производства; различных технологических процессов, их физико-химической сущности и способов управления ими.

В течение всего периода обучения по дисциплине предлагается три задания модульного контроля. Каждый модульный контроль осуществляется в аудитории, в присутствии преподавателя, вне учебного расписания, в течение одной академической пары (90 мин). Общая сумма баллов при правильном решении заданий модуля составляет 10. Участие каждого студента в модульном промежуточном контроле является обязательным.

***Критерии оценки.***

Оценка «отлично» А (9–10 баллов) выставляется за отличное владение всеми компетенциями, отличное ориентирование в звеньях и механизмах ответа (либо при наличии единичных незначительных ошибок), однако не в построении общей логической цепи; отличное владение практическими навыками; использование дополнительной научно-методической литературы.

Оценка «хорошо» В (7–8 баллов) выставляется за очень хорошее владение необходимыми компетенциями, ответ выше среднего уровня, хорошее знакомство с содержанием темы, способность объяснить общие принципы решения всех задач, допуск 1–2 ошибок в знании отдельных звеньев ответа, но не в построении общей логической цепи, очень хорошее владение практическими навыками, в подготовке использование только основной учебной литературы.

Оценка «хорошо» С (5–6 баллов) выставляется за хорошее владение необходимыми компетенциями, в целом правильное выполнение работы с более чем двумя ошибками в знании отдельных звеньев ответа, но не в построении логической цепи, при плохом моделировании отдельных процессов хорошее владение практическими навыками; однако в подготовке не используется учебная литература.

Оценка «удовлетворительно» D (3–4 балла) выставляется за удовлетворительное владение необходимыми компетенциями, материал представляется «заученным», плохо объясняется связь явлений, удовлетворительное владение расчетными навыками, использование при подготовке только материала кафедральных методичек при минимальном уровне знаний по дисциплине.

Оценка «удовлетворительно» E (2–3 балла) выставляется за то, что студент владеет не всеми необходимыми компетенциями, с материалом качественно не знаком, однако пытается выстраивать логические связи на основании предыдущих знаний или знаний других дисциплин; работа не засчитана, требует дополнительных занятий перед пересдачей.

Оценка «неудовлетворительно» F (0–1 балл) выставляется за то, что студент не готов, необходимыми компетенциями не владеет, не способен выходить на логические связи на основании предыдущего материала или учебного материала, полученного по другим дисциплинам; для сдачи СР необходима серьезная дальнейшая работа.

# 1. МОДУЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ № 1 ПО ГЛАВАМ: «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИИ. ЭЛЕКТРОХИМИЯ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ», «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»

**КИМ № 1** состоит из 3 вариантов, в каждом по 10 заданий ситуационных и практического (решение задач) характера, в том числе по направлениям:

1. Теоретические основы электрохимических процессов, электрохимические системы: окислительно-восстановительные реакции, окислительно-восстановительный потенциал; химическое равновесие в ОВР, направление процесса; электродный потенциал металла в растворе электролита; ЭДС гальванического элемента, схема процессов при работе ГЭ; электрохимические процессы при электролизе.
2. Свойства растворов электролитов: растворимость и энергетика процессов растворения; свойства растворов слабых и сильных электролитов; водородный показатель и произведение (коэффициент) растворимости; молекулярно-ионные обменные реакции в электролитах; гидролиз и буферное действие в растворах.
3. Основы диффузионной кинетики электродных процессов под действием электрического тока: определение ЭДС гальванического элемента с учетом температуры и равновесия в неработающем гальваническом элементе; поляризация и деполяризация электродов в работающем гальваническом элементе; выходные характеристики гальванического элемента.

## Вариант № 1

1. Растворимость газообразного хлора при температуре  $10^{\circ}\text{C}$  и давлении 100 кПа составляет  $3,148 \text{ м}^3$  в  $1 \text{ м}^3$  воды. Определите, в каком объеме воды при этой же температуре и давлении 150 кПа растворится 250 г хлора. Рассчитайте массовую долю хлора в растворе.
2. Установите, можно ли при стандартных условиях использовать железа (III) оксид в качестве окислителя для процесса  $2\text{H}_2\text{O} - 2\text{e}^- = \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+$ . Составьте доказательное уравнение возможной окислительно-восстановительной реакции и установите в ней материальный и электронный баланс. Рассчитайте разность потенциалов при стандартных условиях.
3. Составьте гальванический элемент, образованный цинковым и свинцовым электродами, погруженными в растворы их солей с концентрациями, соответственно, 0,005 М. и 0,009 М. Рассчитайте ЭДС этого элемента при стандартных условиях и напишите схемы электродных процессов.
4. Расставьте коэффициенты в уравнении окислительно-восстановительной реакции, протекающей по схеме:  $\text{Cl}_2 + \text{Br}_2 + \text{KOH} \rightleftharpoons \text{KCl} + \text{KBrO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Рассчитайте константу равновесия этой системы при стандартных условиях: активности ионов, равной 0,001 моль/кг, относительном парциальном давлении хлора 0,02, а брома – 0,05.
5. Используя значения подвижностей ионов при бесконечном разбавлении ( $\lambda_{\infty}(\text{H}^+) = 349,8 \text{ См}\cdot\text{см}^2/\text{моль}$ ;  $\lambda_{\infty}(\text{K}^+) = 73,5 \text{ См}\cdot\text{см}^2/\text{моль}$ ;  $\lambda_{\infty}(\text{Cl}^-) = 76,35 \text{ См}\cdot\text{см}^2/\text{моль}$ ), вычислите удельную электрическую проводимость раствора, содержащего 0,001 М. HCl и 0,005 М. KCl при температуре 298 К.
6. Рассчитайте окислительно-восстановительный потенциал системы  $\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- = \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ , если pH раствора соответствует 3,5, а концентрации ионов  $\text{ClO}_3^-$  и  $\text{Cl}^-$  равны, соответственно, (моль/кг): 0,1 и 0,01.
7. Рассчитайте pH раствора, содержащего в 500 мл воды смесь равных объемов 0,0005 М. раствора HCl и 0,001 М. раствора  $\text{CaCl}_2$ .
8. Рассчитайте равновесный потенциал кислородного электрода при  $\text{pH} = 7$ , температуре  $20^{\circ}\text{C}$  и относительном парциальном давлении кислорода  $P(\text{O}_2) = 0,208$ .
9. Определите объем 1 н. раствора бромистоводородной кислоты HBr, необходимый для восстановления 0,25 моль  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  по реакции:  $\text{HBr} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{KBr} + \text{CrBr}_3 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
10. Определите степень диссоциации, константу диссоциации и кислотность 0,08 М. раствора уксусной кислоты, помещенной между параллельными электродами площадью  $4 \text{ см}^2$  на расстоянии 2 см друг от друга, если при напряжении 10 В и температуре 298 К через раствор пропущен электрический ток силой 20,5 мА. При указанной температуре подвижности ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  соответственно равны 349,8 и 40,9  $\text{См}\cdot\text{см}^2/\text{моль}$ . Значения подвижностей ионов указаны с учетом постоянной Фарадея.

## Вариант № 2

1. Рассчитайте, в каком объеме насыщенного раствора ограничено растворимой соли серебра ортофосфата содержится 0,15 г ионов серебра.
2. Вычислите pH и буферную ёмкость по отношению к HCl раствора, полученного при смешивании 1,2 л 1,2 М. раствора уксусной кислоты и 0,6 л 0,6 М. раствора натрия ацетата.
3. Установите, можно ли при стандартных условиях использовать марганца (IV) диоксид в качестве окислителя для процесса  $2\text{H}_2\text{O} - 2\text{e}^- = \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+$ . Составьте уравнение возможной окислительно-восстановительной реакции и установите в ней материальный и электронный баланс.

4. Составьте гальванический элемент, образованный железным и свинцовым электродами, погруженными в 0,005 М. растворы их солей. Рассчитайте ЭДС этого элемента при стандартных условиях и напишите схемы электродных процессов.

5. Гальванический элемент образован двумя водородными электродами  $\text{Pt}(\text{H}_2)$ , опущенными в растворы: муравьиной кислоты ( $\text{HCOOH}$ ) с концентрацией 0,001 н. и уксусной кислоты ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) с концентрацией 1,0 н. При этом константы диссоциации кислот равны соответственно:  $K_d(\text{HCOOH}) = 1,77 \cdot 10^{-4}$ ;  $K_d(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$ . Рассчитайте ЭДС элемента, изобразите его схему и укажите электродные реакции при работе элемента.

6. Рассчитайте окислительно-восстановительный потенциал системы  $\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- = \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ , если  $\text{pH}$  раствора соответствует 2,5, а концентрации ионов  $\text{ClO}_3^-$  и  $\text{Cl}^-$  равны, соответственно (моль/кг): 0,01 и 0,001.

7. Рассчитайте константу равновесия реакции  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 6\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 6\text{HNO}_3 + \text{S}$ , если моляльные концентрации серной кислоты и воды равны по 1 моль/кг; молекул серы –  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/кг; нитрат-ионов –  $1 \cdot 10^{-6}$  моль/кг; парциальное давление оксида азота (IV) равно 106,6 кПа.

8. Рассчитайте равновесный потенциал кислородного электрода при  $\text{pH} = 8$ , температуре  $25^\circ\text{C}$  и относительном парциальном давлении кислорода  $P(\text{O}_2) = 0,21$ .

9. Рассчитайте ЭДС гальванического элемента, образованного серебряным электродом, погруженным в 0,01 М. раствор серебра нитрата  $\text{AgNO}_3$ , и водородным электродом, погруженным в 0,02 н. раствор серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , если коэффициенты активности ионов серебра и водорода равны, соответственно:  $f_a(\text{Ag}) = 0,924$ ;  $f_a(\text{H}^+) = 0,88$ , а степени диссоциации электролитов  $\alpha(\text{AgNO}_3) = 0,93$ ;  $\alpha(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,58$ .

10. Стандартный окислительно-восстановительный потенциал системы  $2\text{H}^+|\text{H}_2$  равен  $\pm 0$  В. Определите, в какой среде ( $\text{pH} = 3$  или 13) водород является более сильным восстановителем, если парциальное давление  $\text{H}_2$  равно 100 кПа.

### Вариант № 3

1. Расставьте коэффициенты в уравнении окислительно-восстановительной реакции, протекающей по схеме:  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{KBrO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{KBr} + \text{NaOH}$ .

2. Рассчитайте величину электродного потенциала марганцевого электрода-анода  $\text{MnO}_2|\text{MnOOH}$ , погруженного в щелочной раствор с  $\text{pH} = 11,0$ .

3. Рассчитайте ЭДС топливного элемента, в котором при температуре 400 К и относительных парциальных давлениях газов, равных 1,0, протекает электрохимическая реакция:  $\text{H}_{2(\text{г})} + \frac{1}{2}\text{O}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ . Используя справочные термодинамические значения, определите константу равновесия этой реакции и направление процесса.

4. При изготовлении печатных плат производят избирательное травление (окисление) пленки меди, нанесенной на полимер. Определите, можно ли использовать в качестве окислителя трихлорид железа, чтобы произошла реакция  $\text{Cu} + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Cu}^+ + \text{Fe}^{2+}$ , если активности ионов  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Cu}^+$  равны по 1 моль/кг и температура процесса 298 К.

5. Определите, выпадет ли осадок магнезия оксалата  $\text{MgC}_2\text{O}_4$ , если к 0,1 л 0,01 М. раствора  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  прибавлено 0,4 л 0,001 н. раствора  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ .

6. Рассчитайте  $\text{pH}$  раствора, содержащего в 500 мл воды смесь равных объемов 0,0005 М. раствора  $\text{HCl}$  и 0,001 М. раствора  $\text{CaCl}_2$ .

7. Вычислите активную концентрацию 0,005 М. раствора алюминия сульфата при плотности раствора  $\rho = 1,019$  г/мл.

8. Вычислите  $\text{pH}$  0,2 М. раствора муравьиной кислоты, к 1 л которого добавлено 3,4 г натрия формиата, если степень диссоциации соли равна 93 %, а константа диссоциации кислоты  $k_d(\text{HCOOH}) = 1,8 \cdot 10^{-4}$ . Объясните механизм буферного действия такой системы.

9. Определите, на сколько изменится потенциал водородного электрода при температуре 283 К, если 0,4 н. раствор  $\text{HCl}$ , в который опущен электрод, полностью нейтрализовать щелочью.

10. Электродный потенциал цинкового электрода, погруженного в 0,2 н. раствор цинка сульфата, равен  $-0,80$  В. Определите кажущуюся степень диссоциации  $\text{ZnSO}_4$  в растворе указанной концентрации.

## **2. МОДУЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ № 2 ПО ГЛАВАМ: «ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ. ЭЛЕКТРОЛИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ БЕЗ ВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ», «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОВ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ»**

**КИМ № 2** состоит из 3 вариантов, в каждом по 10 заданий ситуационных и практического (решение задач) характера, в том числе по направлениям:

1. Электрическая проводимость растворов электролитов: удельная, молярная, молекулярная электропроводность растворов.
2. Катодное выделение и анодное растворение металлов и сплавов, кинетика процессов под действием внешнего электрического тока: скорости электрохимических процессов; явления поляризации электродов за счет перенапряжения водорода и кислорода в водных растворах; законы Фарадея при электролизе; определение продуктов электролиза.
3. Электрохимический эквивалент сплава, практический электрохимический эквивалент и реальные скорости процессов электролиза.

### **Вариант № 1**

1. Две медные пластины с площадью поверхности  $4 \text{ см}^2$  расположены параллельно друг другу на расстоянии 11 см. Пространство между ними заполнено 0,68 М. раствором меди (II) сульфата. Молярная электрическая проводимость этого раствора равна  $57,4 \text{ См} \cdot \text{см}^2/\text{моль}$ . Определите, какое напряжение должно быть приложено к пластинам, чтобы сила тока была равна 2,8 А.
2. Установите, какие из приведенных металлов (никель, кальций, серебро) будут разрушаться в атмосфере влажного воздуха, насыщенного диоксидом углерода  $\text{CO}_2$ . Ответ обоснуйте вычислением  $\Delta G_{298}^0$  соответствующих процессов.
3. Изделие из кобальта погрузили в 0,03 М. раствор  $\text{CoSO}_4$  при температуре  $70^\circ \text{C}$ . Определите, будет ли кобальт подвергаться коррозии в таких условиях. Ответ подтвердите соответствующими расчетами ЭДС возможных процессов.
4. Определите силу тока, прошедшего через железный электрод площадью  $0,7 \text{ м}^2$ , если величина электрохимической поляризации выделения водорода на железе из щелочного электролита равна 0,55 В.
5. Рассчитайте массу свинца, выделившегося на  $0,5 \text{ м}^2$  площади катода за 10 ч при плотности тока  $10 \text{ А/м}^2$  из раствора соли свинца (II), содержащего 2,07 г/л  $\text{Pb}^{2+}$ . Определите величину концентрационной поляризации электрода, если толщина диффузного слоя равна  $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ , а коэффициент диффузии ионов  $\text{Pb}^{2+}$  к поверхности электрода равен  $1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ .
6. На электрохимическое рафинирование в водном растворе серной кислоты поступил черновой никель, содержащий примеси цинка и меди. Установите электродные процессы на аноде и катоде, составьте соответствующие схемы электролиза. Рассчитайте время, необходимое для очистки 10 кг никеля при токе силой 1000 А и выходе металла по току 97 процентов.
7. Установите, как будет изменяться среда у платиновых электродов – катода и анода в процессе электролиза из раствора комплексного соединения  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ . Составьте уравнения электродных процессов.
8. Рассчитайте электрохимический эквивалент сплава  $\text{Co} - \text{W}$  с весовым содержанием кобальта 64 %, если кобальт растворяется до  $\text{Co}^{2+}$ , а вольфрам – до высшей степени окисления  $\text{W(VI)}$ .
9. Определите выход по току процесса растворения сплава  $\text{Fe} - \text{Ni} - \text{Mo}$ , содержащего 2,5 % молибдена и 25 % никеля, если молибден переходит в электролит в высшей степени окисления, а железо и никель – в виде катионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$ . Через 100 с после начала процесса проходившего под током силой 100 А, в растворе обнаружено по 1,0 г железа и никеля и 0,05 г молибдена.
10. При электролизе раствора натрия нитрита был получен натрия нитрат массой 0,134 г, аммиак массой 0,033 г и водород объемом 1,876 л (объем измерен при нормальных условиях). Рассчитайте выход по току каждого продукта, если при этом в кулонометре выделилось 20,14 г серебра.

### **Вариант № 2**

1. Определите область температур, в которой невозможна химическая коррозия стали (Fe) под действием сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) до  $\text{FeS}$  в стандартном состоянии. Составьте уравнение процесса.
2. Электрическое сопротивление 0,0025 М. раствора калия сульфата при температуре 298 К равно 326 Ом, а сопротивление раствора калия хлорида в этой же ячейке оказалось равным 82 Ом. Удельная электропроводность раствора калия хлорида равна  $2,77 \cdot 10^{-3} \text{ См/см}$ . Определите молярную электрическую проводимость раствора калия сульфата.
3. Определите, какой металл и в каком количестве по массе подвергся коррозии, если пара  $\text{Sn-Zn}$  находилась при  $pH = 10$  в течение 2,5 мин при комнатной температуре. Установлено, что при этом выделилось 28 мл  $\text{H}_2$  и поглотилось 56 мл  $\text{O}_2$  (объемы приведены к нормальным условиям).

4. Составьте уравнения электродных процессов при электролизе водного раствора магния сульфата на графитовых электродах. Рассчитайте, сколько и каких веществ выделится на катоде и аноде, если электролиз вести при силе тока 10 А в течение 3 ч.

5. Определите, как будет электролита меняться среда у анода и катода в процессе электролиза на электродах из нержавеющей стали из слабокислотного, содержащего железа (II) хлорид.

6. Рассчитайте силу тока, проходящего через щелочные электролиты при выделении водорода на платиновых и свинцовых электродах площадью 1 м<sup>2</sup>, если величина электрохимической поляризации в обоих случаях составила 0,5 В. Определите объемы образовавшегося за 1 ч газа на этих электродах при нормальных условиях.

7. При электрошлифовании 5 дм<sup>2</sup> оцинкованной стальной детали в водном растворе серной кислоты выделилось 280 мл кислорода (объем измерен при нормальных условиях). Рассчитайте, какой будет глубина съема металла при выполнении процесса в течение 10 мин при плотности тока 40 А/дм<sup>2</sup>. Плотность цинка равна 7,11 г/см<sup>3</sup>.

8. Electrodes с площадью поверхности 5 см<sup>2</sup>, находящиеся на расстоянии 10 см друг от друга, помещены в 0,01 М. раствор кислоты уксусной при температуре 295 К. При разности потенциалов в 70 В через раствор пропущен ток силой 0,005 А. Определите удельную и молярную электрические проводимости этого раствора, пренебрегая особенностями конструкции ячейки.

9. Рассчитайте электрохимический эквивалент сплава Ni – Cr с одинаковым весовым содержанием никеля и хрома в сплаве, если никель растворяется до Ni<sup>2+</sup>, а хром до высшей степени окисления Cr(VI).

10. При электрохимическом оксидировании детали из магния в щелочном растворе выделилось 11,2 мл кислорода, измеренного при н.у. Определите выход по току магния, если масса изделия уменьшилась при оксидировании на 100 мг.

### Вариант № 3

1. Молярная электрическая проводимость 0,1 М. раствора серебра нитрата равна 94,3 См·см<sup>2</sup>/моль. Определите электрическое сопротивление электролита, если расстояние между электродами составляет 3 см и площадь поверхности каждого электрода 7 см<sup>2</sup>.

2. Определите, какой металл и в каком количестве по массе подвергся коррозии, если пара Cu-Zn находилась при pH = 12 в течение 2,5 мин при комнатной температуре. Установлено, что при этом выделилось 28 мл H<sub>2</sub> и поглотилось 56 мл O<sub>2</sub> (объемы приведены к нормальным условиям).

3. Определите скорость равномерной коррозии хрома в мм/год и в г/м<sup>2</sup>·сутки, если плотность коррозионного тока составляет 0,062 А/м<sup>2</sup>.

4. Определите массу железа, выделившегося на катоде при электролизе раствора железа (II) сульфата в течение 3 ч при силе тока 27 А, если выход металла по току составил 82 %. Установите, какой процесс протекает при этом на графитовом аноде.

5. Рассчитайте объемы (н. у.) выделившихся газов на платиновых электродах при электролизе раствора натрия хлорида за 10 ч при силе тока 30 А и выходе хлора по току 90 %.

6. Рассчитайте, сколько и каких веществ выделится на катоде и аноде при электролизе водного раствора комплексной соли Na[Ag(CN)<sub>2</sub>] на серебряных электродах, если процесс вести при силе тока 20 А в течение 5 ч. Выход металла по току составляет в этих условиях 90 %.

7. Определите силу тока на свинцовых электродах площадью 0,5 м<sup>2</sup> при выделении водорода из кислотного электролита, если электрохимическая поляризация катода составляет 0,25 В.

8. Сплав меди с сурьмой, содержащий 47 % сурьмы, анодно растворяли при силе тока 0,02 А в течение 1 ч. Определите массу сплава, перешедшего в раствор, если на аноде протекают только процессы ионизации меди и сурьмы и выход по току меди составил 53 %.

9. Через раствор электролита, содержащий 0,15 молей ртути (II) хлорида HgCl<sub>2</sub> и 0,25 молей меди (II) хлорида CuCl<sub>2</sub>, пропустили электрический ток силой 5 А в течение 2,5 часов. Определите массу всех веществ, выделившихся на нерастворимых электродах и оставшихся в растворе, при стандартных условиях.

10. При электролизе раствора натрия хлорида NaCl в течение определённого времени в электролизёре было получено 300 мл 1,375 М. раствора натрия гидроксида. За такое же время и при такой же силе тока из раствора меди (II) сульфата CuSO<sub>4</sub> выделилось 18,4 г меди. Определите выход по току NaOH.

### 3. МОДУЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ № 3 ПО ГЛАВАМ: «ЭЛЕКТРОЛИЗ РАСПЛАВЛЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ», «ОСНОВЫ ГАЛЬВАНОТЕХНИКИ: ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ», «ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА», «ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ»

**КИМ № 3** состоит из 3 вариантов, в каждом по 10 заданий ситуационных и практического (решение задач) характера, в том числе по направлениям:

1. Электролиз из расплавленных электролитов.
2. Определение рассеивающей способности электролитов.
3. Расчеты энергетических затрат в гальванотехническом производстве.
4. Условия защиты окружающей среды от отходов электрохимического производства.

#### Вариант № 1

1. Определите время, необходимое для получения 1 кг металлического калия на угольных электродах электролизом расплава КОН при силе тока 3500 А и катодном выходе металла по току, равном 85 %. Рассчитайте объем газа (н. у.), выделившегося на аноде, при его выходе по току, равном 95 %.
2. Пользуясь значениями стандартных окислительно-восстановительных потенциалов, предложите окислитель для обезвреживания токсичного хлора, содержащегося в сточной воде при его относительном парциальном давлении  $P^*(\text{Cl}_2) = 1$ .
3. Рассчитайте минимальную массу цинкового анода для получения 6,0 Вт · ч энергии в сухом марганцево-цинковом элементе, схема которого  $(+) \text{MnO}_2, \text{C} | \text{NH}_4\text{Cl} | \text{Zn} (-)$ , если его ЭДС при стандартном состоянии всех компонентов и температуре 298 К равна 1,5 В.
4. Установите, будет ли работать гальванический элемент, состоящий из двух водородных электродов, погруженных в 1,0 н. и 0,1 н. растворы КОН при 25 °С. Ответ подтвердите расчетом ЭДС.
5. Рассчитайте ЭДС элемента, состоящего из кобальтового электрода, погруженного в раствор кобальта (II) хлорида с активностью ионов  $\text{Co}^{2+}$ , равной 0,2 моль/кг, и титанового электрода, погруженного в раствор титана (IV) хлорида с активностью ионов  $\text{Ti}^{4+}$ , равной 0,02 моль/кг. Определите максимально возможное количество электричества и полезной работы, которые можно получить в этом элементе с исходной массой титана, равной 12 г.
6. Рассчитайте толщину медного покрытия на 1 дм<sup>2</sup> поверхности стального изделия и изменение толщины 1 дм<sup>2</sup> поверхности медного анода при электролизе в течение 1 ч водного раствора меди (II) сульфата, если катодная плотность тока 100 А/м<sup>2</sup>, анодная – 50 А/м<sup>2</sup>. Выход металла на катоде составил 80 %, на аноде – 90 %. Плотность меди 8,9 г/см<sup>3</sup>.
7. При определении рассеивающей способности (РС) сернокислотного хромового электролита по методу Херинга и Блюма была использована электролитическая ячейка с соотношением расстояний от анода до дальнего и ближнего катодов  $K = l_d/l_c = 5$ . Во время опыта на дальнем катоде выделилось 0,179 г хрома, на ближнем – 1,027 г хрома. Определите рассеивающую способность электролита хромирования.
8. В 15 м<sup>3</sup> сточной воды химического производства содержится фенол с концентрацией 0,094 г/л и метиловый спирт с концентрацией 0,032 г/л. Рассчитайте массу пероксида водорода, необходимого для полного окисления этих примесей.
9. Агрегат по производству серной кислоты выбрасывает в течение часа в атмосферу 17 м<sup>3</sup> газов, в которых содержится 16 об. %  $\text{SO}_2$ . Определите массу оксида серы (IV), выбрасываемого в атмосферу за сутки непрерывного производства, и массу аммиачного поглотителя (в виде  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), необходимого для утилизации этого опасного вещества.
10. В ртутно-цинковом гальваническом элементе положительная активная масса равна 16,0 г, она состоит из 95 % оксида ртути (II) и 5 % графита. Рассчитайте коэффициент использования  $\text{HgO}$  в расчете на номинальную емкость элемента, равную 2,6 А · ч, если ограничитель емкости элемента – окисно-ртутный электрод. Напишите электродную реакцию.

#### Вариант № 2

1. Составьте уравнения электродных процессов при электролизе водного раствора цинка сульфата на цинковых электродах. Рассчитайте величину теоретического напряжения разложения на электродах при 298 К, если катодный выход металла по току равен 70 %.
2. Определите, как будет меняться среда у анода и катода в процессе электролиза из электролита хромирования, содержащего смесь хромовой  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  и серной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  кислот на электродах из нержавеющей стали.
3. При электролизе расплава кальция хлорида на катоде выделилось 7 кг кальция при выходе металла по току 70 %. Рассчитайте массу израсходованной соли, содержащей 30 % примесей.

4. Определите расход электроэнергии на получение 100 кг серебра при электролизе водного раствора серебра нитрата на угольных электродах, принимая выход серебра по току, равным 1, если напряжение разложения составило 1,3 В.
5. В растворе содержатся соли  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{AgNO}_3$ . Определите, при каком напряжении надо вести электролиз на графитовых электродах, чтобы полностью разделить ионы цинка и серебра.
6. Токсичные ионы свинца можно удалить из сточных вод катодным восстановлением  $\text{Pb}^{2+}$  по реакции  $\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Pb}$ . Рассчитайте предельную плотность тока и концентрационную поляризацию катода при выделении свинца из воды, содержащей 0,2 г/л  $\text{Pb}^{2+}$ , принимая площадь катода 5 дм<sup>2</sup>, плотность тока 15 А/м<sup>2</sup>, время очистки 10 ч (коэффициент диффузии ионов  $D(\text{Pb}^{2+}) = 1 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с; толщина диффузного слоя  $\delta = 1 \cdot 10^{-4}$  м).
7. Вычислите катодную плотность тока и время, необходимое для электролитического покрытия стальной пластинки размером 10 см × 20 см с одной стороны слоем хрома толщиной 0,025 мм при силе тока 0,18 А. Плотность хрома 6,92 г/см<sup>3</sup>. Хромовый электролит универсальный.
8. Рассчитайте, во сколько раз необходимо разбавить сточную воду, содержащую 0,001 моль/л  $\text{Hg}^{2+}$ , чтобы её можно было сливать в водоем, если ПДК ( $\text{Hg}^{2+}$ ) = 0,0005 мг/л.
9. Литиево-кальциевый сплав состава 60 % Ca ( $\omega(\text{Ca}) = 60$  %) и 40 % Li ( $\omega(\text{Li}) = 40$  %) может быть получен электролизом расплавленного электролита, содержащего 70 % LiCl и 30 %  $\text{CaCl}_2$ . Рассчитайте выход по току сплава, если на ванне с нагрузкой тока 3000 А получено за сутки  $m(\text{Li} - \text{Ca})_{\text{факт}} = 27$  кг сплава. Установите, какая доля катодного тока расходуется на выделение отдельных компонентов полученного сплава. Рассчитайте удельный расход электроэнергии в пересчете на 1 т полученного сплава, если напряжение на ванне 9,0 В. Определите, сколько солевого расплава и при каком массовом соотношении LiCl и  $\text{CaCl}_2$  нужно ежедневно вводить в ванну для восполнения расхода солей на электро-восстановление.
10. Серебряный электрод Ag-Zn аккумулятора, содержащий 6,27 г металлического серебра, отдал при разряде емкость 1,98 А · ч. Определите коэффициент использования серебра в расчете на его получение в качестве продукта электролиза при разряде  $\text{Ag}_2\text{O}$ .

### Вариант № 3

1. Электрохимическое хромирование проводят из раствора смеси хромовой  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  и серной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  кислот с использованием нерастворимого анода. Рассчитайте время, необходимое для нанесения хромового покрытия толщиной 10 мкм на 0,5 м<sup>2</sup> стальной ленты при плотности тока 0,8 кА/м<sup>2</sup> и выходе хрома по току, равном 25 %. Плотность хрома равна 7,19 г/см<sup>3</sup>.
2. При токе силой 2 А в течение 40 мин на катоде выделилось 3,43 г неизвестного двухвалентного металла. Определите этот металл.
3. Рассчитайте теоретический потенциал разложения водных растворов цинка сульфата, серебра нитрата и меди (II) нитрата при их электролизе на графитовых электродах.
4. Определите толщину отложившегося при электролизе на железной проволоке слоя олова (плотность олова 7,3 г/см<sup>3</sup>), если длина проволоки 2 м, а диаметр её 0,004 см. Ток силой 2,5 А в течение 30 мин пропускали через раствор  $\text{SnCl}_2$ . Выход по току олова – 93 %.
5. Определите количество электричества, необходимого для электрохимического окисления фенола с целью снижения его концентрации с 0,01 мг/л до ПДК (0,001 мг/л) в сточной воде объемом 10000 л при условии 100 % выхода по току.
6. Тепловая электростанция мощностью 1000 МВт ежемесячно выбрасывает в атмосферу 4388 т  $\text{SO}_2$ , 1800 т  $\text{NO}_2$  и 6,7 т СО. Оцените, какие полезные продукты можно было бы получить при рекуперации этих выбросов. Напишите уравнения соответствующих реакций и рассчитайте теоретические массы полезных продуктов.
7. После 1 ч 10 мин катодного осаждения свинца из борфтористоводородного электролита с  $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$  при плотности тока 3,0 А/дм<sup>2</sup> на детали с поверхностью 1,2 дм<sup>2</sup> осадилось 14,7 г свинца. Рассчитайте: а) выход металла по току; б) объем выделившегося водорода при н. у.; в) среднюю толщину свинцового покрытия.
8. С натриевого электролизера при токовой нагрузке 8000 А, залитого расплавом едкого натра, за сутки получено 85 кг металлического натрия при среднем напряжении на ванне 5,0 В. Рассчитайте выход по току и удельный расход электроэнергии на получение этого количества металла.
9. При электролизе содово-хлоридного расплава калия и натрия с жидким свинцовым катодом образуется тройной сплав состава: 90 % Pb; 9,25 % Na; 0,75 % К. При токовой нагрузке на электролизер 18 кА выход сплава по току составляет 90 %. Рассчитайте суточную производительность электролизера по тройному катодному сплаву (в расчете на непрерывную его работу) и удельный расход электроэнергии на получение 1 т тройного сплава при среднем напряжении на ванну 5,5 В.
10. Железный электрод щелочного аккумулятора содержит 22,8 г активной массы. В её состав входит 69,3 % «общего» железа. Коэффициент использования железа при разряде электрода равен 23 %. Определите разрядную ёмкость электрода.

#### 4. РЕФЕРАТИВНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ»

Каждый студент за семестр должен выполнить не менее одного реферативного исследования и доложить его на семинаре или конференции, представив соответствующую электронную презентацию. Трудоемкость реферата с учетом качества оформления согласно требованиям, предъявляемым к оформлению научных докладов, оценивается в 5 баллов.

##### **Критерии оценки.**

Оценка «отлично» А (5 баллов) выставляется за глубокое понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых явлений; логически последовательные самостоятельно поставленные вопросы и полные, правильные и конкретные ответы на них; умение самостоятельно анализировать явления и процессы в их взаимосвязи и развитии, делать правильные выводы из полученных результатов; использование широкого спектра научной литературы и правильные ссылки на неё.

Оценка «хорошо» В (4 балла) выставляется за достаточно глубокие ответы на самостоятельно поставленные вопросы избранной темы исследования, правильное понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов, достаточные знания для обоснования выводов и заключения; правильные, без существенных неточностей объяснения, использование научной литературы в ограниченном количестве, несущественные ошибки при формировании библиографии.

Оценка «удовлетворительно» С-D (3–3,5 балла) выставляется за ответы, полученные на все не самостоятельно поставленные вопросы избранной темы, однако отсутствует обоснование её значимости, слабые теоретические посылы и отсутствие практического приложения; ограниченное использование литературных источников; отсутствие выводов.

Оценка «неудовлетворительно» E-F (0–2 балла) выставляется за отсутствие обоснования избранной темы, выводов и заключения, ссылок на библиографические источники. Нет правильных ответов ни на один из поставленных вопросов.

##### **Требования к оформлению и содержанию реферативного исследования.**

**Реферат** оформляется электронной версией, шрифт Word, кеглем 12 и включает в себя:

- пояснительную записку,
- основную часть,
- регламент последовательности процессов с указанием химических составов сырья, вспомогательных материалов для производства, основных и вспомогательных процессов,
- выводы и заключение,
- список использованных источников информации.

**Содержание реферата** состоит из ответов на следующие вопросы:

1. Химическое обоснование (с элементами экологического и экономического обоснования) выбора продукта производства, подтверждающее целесообразность его получения именно электрохимическим способом, а не физическим или химическим способом. Обратит внимание на доступность сырья для производства и безопасность предлагаемых режимов процесса производства.
2. Объяснение преимущества предлагаемого способа производства, но и наличие возможных нарушений при использовании предлагаемой технологии.
3. Показ направления использования продуктов производства и, по возможности, способов охраны окружающей среды от отходов данного производства.

##### **Примерный перечень тем реферативного исследования:**

1. Технология производства какого-либо неорганического вещества неметаллического характера на катоде при электролизе из расплава или из раствора.
2. Технология производства какого-либо неорганического вещества неметаллического характера на аноде при электролизе из расплава или из раствора.
3. Технология производства какого-либо неорганического вещества неметаллического характера одновременно на катоде и на аноде при электролизе из расплава или из раствора.
4. Технология производства какого-либо органического вещества неметаллического характера на катоде при электролизе из расплава или из раствора.
5. Технология производства какого-либо органического вещества неметаллического характера на аноде при электролизе из расплава или из раствора (в том числе обзор производства на Бендерском масло-экстракционном предприятии).
6. Технология производства какого-либо металла или сплава электролизом из расплава на твердом или жидком катоде или на аноде гидрометаллургическим способом (в том числе на примере работы Рыбницкого металлургического комбината).
7. Технология производства какого-либо металла или сплава электролизом из раствора на катоде или на аноде.
8. Технология нанесения металлического покрытия (металла или сплава) гальваническим способом на металлическую подложку (с учетом опыта работы ООО «Электромаш» г. Тирасполь).

9. Технология нанесения металлического покрытия (металла или сплава) гальваническим способом на неметаллическую подложку (с учетом опыта работы завода «Молдавизолит» г. Тирасполь).
10. Анализ электрохимических производств на территории Приднестровской Молдавской Республики.
11. Технология производства электрической энергии с использованием углеводородного сырья в качестве топлива и перспективы его использования (в том числе на примере получения электроэнергии на Молдавской ГРЭС или Тираспольской ТЭЦ).
12. Международные и государственные экологические требования к технологическим процессам производства органических и неорганических веществ с использованием электрической энергии (в том числе на примере Бендерского электроэкстракционного завода).
13. Международные и государственные экологические требования к гидрометаллургическим процессам производства металлов (в том числе на примере работы Рыбницкого металлургического комбината).
14. Международные и государственные требования к экологически безопасным электрохимическим методам утилизации  $\text{CO}_2$  при производстве цемента на Рыбницком цементно-шиферном комбинате.
15. Международные требования к экологической безопасности использования углеводородного сырья в качестве топлива и перспективы его использования с позиций устойчивого развития мира (в том числе на примере получения электроэнергии на Молдавской ГРЭС).

## 5. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ ОБОБЩАЮЩЕГО ХАРАКТЕРА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ»

**Итоговый (выходной) тестовый контроль** проводится в конце семестра в период зачетной сессии и является обязательным для аттестации студента, не набравшего 50 баллов (из 100 возможных) за весь курс обучения дисциплине «Основы электрохимических производств». Для остальных студентов – итоговое тестирование проводится по их желанию.

Итоговый (выходной) тест включает 30 вопросов, охватывающих все разделы рабочей программы. По каждому вопросу студенту предлагается 4 варианта ответа, он должен выбрать один из них. Ответы составлены таким образом, что среди них нет ни одного заведомо ложного, хотя абсолютно правильным является лишь один. Только тот из студентов, кто понял суть задания и знает его теоретическую и практическую базу, может увидеть отличия в предлагаемых вариантах и найти правильный ответ.

На выполнение всего задания отводится 2 академических часа (90 мин).

Предлагаемые задания учитывают минимально необходимые знания по дисциплине для получения положительной оценки.

### **Критерии оценки.**

За каждый правильный ответ начисляется 1 балл, количество правильных ответов соответствует количеству набранных баллов. При этом:

85–100 % баллов соответствует оценке «отлично» А (9–10 баллов);

75–84 % баллов соответствует оценке «хорошо» В (7–8 баллов);

65–74 % баллов соответствует оценке «хорошо» С (5–6 баллов);

51–64 % баллов соответствует оценке «удовлетворительно» D (3–4 балла);

45–50 % баллов соответствует оценке «удовлетворительно» E (2–3 балла);

35–44 % баллов соответствует оценке «неудовлетворительно» F (0–1 балл), необходимо повторно сдать тест; менее 35 % баллов работа не засчитана, рекомендовано повторное изучение всего курса дисциплины.

### **Образец итогового (выходного) тестового контроля**

#### **Вариант № п**

**Задание 1.** Для приготовления 2 л 0,05 М. раствора меди (II) сульфата потребуется безводной соли  $\text{CuSO}_4$ :

**Варианты ответов:**

а) 160 г;

б) 16 г;

в) 32 г;

г) 64 г.

**Задание 2.** Диссоциации электролитов  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  соответствуют следующие уравнения реакций:

**Варианты ответов:**

а)  $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$ ,

$\text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ;

$\text{BaCl}_2 \rightleftharpoons \text{BaCl}^+ + \text{Cl}^-$ ,

$\text{BaCl}^+ \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+} + \text{Cl}^-$ ;

$\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{CaOH}^+ + \text{OH}^-$ ,

$\text{CaOH}^+ \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{OH}^-$ ;

б)  $\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$ ,

$\text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ;

$\text{BaCl}_2 = \text{Ba}^{2+} + 2\text{Cl}^-$ ;

$\text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaOH}^+ + \text{OH}^-$ ,

$\text{CaOH}^+ \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{OH}^-$ ;

в)  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ;

$\text{BaCl}_2 = \text{Ba}^{2+} + 2\text{Cl}^-$ ;

$\text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$ ;

г)  $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ,

$\text{BaCl}_2 \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+} + 2\text{Cl}^-$ ;

$\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$ .

**Задание 3.** В растворах кислот серной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и угольной  $\text{H}_2\text{CO}_3$  с одинаковой концентрацией величина pH будет ...

**Варианты ответов:**

а) больше в растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , так как это сильный электролит, он по 1-й ступени диссоциирует полностью и частично по 2-й ступени, увеличивая тем самым концентрацию ионов  $\text{H}^+$  в растворе, а значит, и pH;

б) больше в растворе  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , так как это слабый электролит, диссоциирует в незначительной степени даже по первой ступени;

в) больше в растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , так как это сильная кислота, она смещает равновесие диссоциации воды в сторону ионов  $\text{H}^+$ , что увеличивает pH;

г) иметь одинаковое значение, так как обе кислоты являются двухосновными.

**Задание 4.** Уравнения гидролиза натрия силиката  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  по всем возможным ступеням и выражения для констант гидролиза по этим ступеням будут иметь следующий вид:

**Варианты ответов:**

а)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2\text{Na}^+ + \text{SiO}_3^{2-}$  – диссоциация полная необратимая в одну ступень,

$\text{SiO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HSiO}_3^- + \text{OH}^-$  – 1-я ступень гидролиза, его константа равна

$$k_{h1} = \frac{[\text{HSiO}_3^-][\text{OH}^-]}{[\text{SiO}_3^{2-}]} = \frac{k_W}{k_{d2}(\text{H}_2\text{SiO}_3)};$$

$\text{HSiO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{OH}^-$  – 2-я ступень гидролиза, его константа равна

$$k_{h2} = \frac{[\text{H}_2\text{SiO}_3][\text{OH}^-]}{[\text{HSiO}_3^-]} = \frac{k_W}{k_{d1}(\text{H}_2\text{SiO}_3)};$$

б)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SiO}_3$  – гидролиз обратимый равновесный,

$$k_h = \frac{[\text{NaOH}]^2[\text{H}_2\text{SiO}_3]}{[\text{Na}_2\text{SiO}_3][\text{H}_2\text{O}]^2} = \frac{k_{d(\text{к-ты})}}{k_{d(\text{соли})}};$$

в)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NaOH} + \text{NaHSiO}_3$  – 1-я ступень гидролиза, его константа

$$k_{h1} = \frac{[\text{NaOH}][\text{NaHSiO}_3]}{[\text{Na}_2\text{SiO}_3]} = \frac{k_{d(\text{осн})}}{k_{d(\text{соли})}};$$

$\text{NaHSiO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$  – 2-я ступень гидролиза, его константа

$$k_{h2} = \frac{[\text{H}_2\text{SiO}_3][\text{NaOH}]}{[\text{NaHSiO}_3]} = \frac{k_{d(\text{соли})}}{k_{d(\text{к-ты})}};$$

г)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2\text{Na}^+ + \text{SiO}_3^{2-}$  – 1-я ступень гидролиза, его константа

$$k_{h1} = \frac{[\text{Na}^+]^2[\text{SiO}_3^{2-}]}{[\text{Na}_2\text{SiO}_3]};$$

$\text{SiO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SiO}_3 + 2\text{OH}^-$  – 2-я ступень гидролиза, его константа

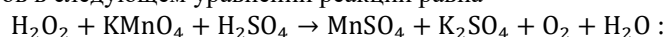
$$k_{h2} = \frac{[\text{H}_2\text{SiO}_3][\text{OH}^-]^2}{[\text{SiO}_3^{2-}]}.$$

**Задание 5.** Уменьшение удельной электропроводности сильных электролитов в концентрированных растворах по сравнению с разбавленными связано с:

*Варианты ответов:*

- а) уменьшением степени диссоциации электролита;
- б) увеличением сил электростатического взаимодействия между ионами;
- в) образованием ассоциатов (ионных двойников, тройников и т. д.);
- г) интенсификацией процесса образования ионных атмосфер.

**Задание 6.** Общая сумма коэффициентов в следующем уравнении реакции равна



*Варианты ответов:*

- а) 7;
- б) 13;
- в) 44;
- г) 26.

**Задание 7.** В электрохимии катодом называют электрод, на котором протекает процесс ...

*Варианты ответов:*

- а) выделения газообразного продукта;
- б) осаждения твёрдой фазы;
- в) восстановления вещества;
- г) окисления вещества.

**Задание 8.** Физический смысл постоянной Фарадея заключается в том, что F ...

*Варианты ответов:*

- а) показывает количество элементарных зарядов, содержащихся в одном моле вещества;
- б) равна произведению постоянной Авогадро  $N_A$  на постоянную Ридберга  $R$ ;
- в) равна 96 500 моль/К;
- г) показывает количество электричества, перенесенное одним молем электронов за одну секунду через один квадратный метр поверхности проводника.

**Задание 9.** Коррозией называют ...

*Варианты ответов:*

- а) процесс окисления поверхности металла под действием влаги без доступа воздуха;
- б) ржавление железа под действием кислорода воздуха при низкой температуре;
- в) процесс разрушения металла (сплава) в результате химического взаимодействия с окружающей средой;
- г) потемнение поверхности металла при соприкосновении с другими металлами.

**Задание 10.** Материалами, выступающими в роли защитного катодного покрытия на стали, являются ...

*Варианты ответов:*

- а) медь, никель, серебро;
- б) цинк, магний, алюминий;
- в) кремний, кислород, водород;
- г) кальций, марганец, титан.

**Задание 11.** В гальванической батарее с двумя и более элементами, соединенными параллельно ...

*Варианты ответов:*

- а)  $U_p = U_{p1} = U_{p2}$ ;  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$ ;  $I = I_1 + I_2$ ;  $Q_p = Q_{p1} + Q_{p2}$ ;
- б)  $U_p = U_{p1} + U_{p2}$ ;  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2$ ;  $I = I_1 = I_2$ ;  $Q_p = Q_{p1} = Q_{p2}$ ;

$$\text{в) } U_p = U_{p_1} + U_{p_2}; \mathcal{E} = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2; I = I_1 + I_2; Q_p = Q_{p_1} = Q_{p_2};$$

$$\text{г) } U_p = U_{p_1} = U_{p_2}; \mathcal{E} = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2; I = I_1 = I_2; Q_p = Q_{p_1} = Q_{p_2}.$$

**Задание 12.** Следующие требования, предъявляемые к конструкции, являются обязательными для ХИТ любого типа и вида ...

*Варианты ответов:*

- а) разделение электродов, предотвращение короткого замыкания;
- б) обеспечение условий равномерной работы электродов;
- в) подавление нежелательных процессов, включая побочные реакции и утечку тока;
- г) создание удобств при эксплуатации.

**Задание 13.** Наиболее распространенными активными веществами катода в ХИТ являются ...

*Варианты ответов:*

- а) оксиды или гидроксиды металлов ( $\text{PbO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Ag}_2\text{O}$ ,  $\text{HgO}$ ,  $\text{NiOOH}$ ,  $\text{HAlO}_2$ ), которые при разряде восстанавливаются до металла или оксида (гидроксида) низшей степени окисления при достаточно электроположительном потенциале;
- б) неорганические вещества ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CuCl}$ ), которые при разряде восстанавливаются до анионов или воды, не загрязняя электролит;
- в) металлы ( $\text{Pb}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Pd}$ ,  $\text{Pt}$ ,  $\text{Ir}$ ), которые восстанавливаются при потенциалах, близких к потенциалам окисления активного вещества анода;
- г) связующие добавки (поливиниловый спирт, карбоксиметилцеллюлоза, политетрафторэтилен), обеспечивающие механическую прочность катода.

**Задание 14.** Электрохимическими генераторами называют ...

*Варианты ответов:*

- а) батарею из гальванических элементов, электрически не соединенных между собой;
- б) батарею из топливных элементов, электрически соединенных последовательно или параллельно;
- в) аккумуляторные системы, состоящие из набора гальванических элементов;
- г) батарею из аккумуляторов, соединенных между собой любым способом.

**Задание 15.** Выходное напряжение, возникающее на клеммах аккумулятора  $U_{\text{вых}}$ , всегда ...  $\mathcal{E}$  по причине ...

*Варианты ответов:*

- а)  $U_{\text{вых}} \geq \mathcal{E}$  по причине наличия тока в работающем аккумуляторе, в отличие от  $\mathcal{E}$  разомкнутой цепи;
- б)  $U_{\text{вых}} = \mathcal{E}$  по причине наличия электролита – деполяризатора, снимающего поляризацию электродов;
- в)  $U_{\text{вых}} \leq \mathcal{E}$  по причине отсутствия поляризации при определенных условиях;
- г)  $U_{\text{вых}} < \mathcal{E}$  по причине перенапряжения электродов и поляризации электролита.

**Задание 16.** При промышленном электролизе расплавов щелочей обязательным условием является ...

*Варианты ответов:*

- а) введение добавки в виде соли основного металла для увеличения скорости электролиза;
- б) наличие диафрагмы для разделения анодного и катодного пространства и предотвращения взрыва;
- в) введение добавки оксида основного металла для снижения температуры расплава;
- г) наличие диафрагмы для разделения катодного и анодного пространства и введение добавки соли основного металла для увеличения электропроводности.

**Задание 17.** При электролизе расплава смеси солей  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{CaF}_2$  на медных электродах образуется ...

*Варианты ответов:*

- а) на катоде – медь, на аноде – фтор, в электролите –  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ;
- б) на катоде – медь, на аноде – катион меди, состав электролита не изменится;
- в) на катоде – кальций, на аноде – катион меди, в электролите –  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{CuF}_2$ ;
- г) на катоде – кальций, на аноде – фтор, в электролите –  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ .

**Задание 18.** При электролизе 5 моль расплава калия хлорида на электродах образуется:

*Варианты ответов:*

- а) по 5 моль вещества на катоде и аноде;
- б) 2,5 моль вещества на катоде и 5 моль вещества на аноде;
- в) по 2,5 моль вещества на катоде и аноде;
- г) 5 моль вещества на катоде и 2,5 моль вещества на аноде.

**Задание 19.** Роль добавок при электролизе расплавов заключается в ...

*Варианты ответов:*

- а) увеличении скорости электролиза за счет добавок сильных электролитов;
- б) уменьшении скорости либо прекращении электролиза побочных реакций;
- в) увеличении электропроводности расплавов слабых электролитов и неэлектролитов;
- г) уменьшении сопротивления электролита за счет ионизации добавок.

**Задание 20.** Положение, наиболее полно характеризующее отличие электрохимических реакций от химических реакций:

*Варианты ответов:*

- а) протекают исключительно как окислительно-восстановительные реакции на пространственно-разделенных электродах;
- б) протекают на пространственно-разделенных электродах и сопровождаются взаимопревращением

- химической и электрической энергии;  
 в) протекают в двойном электрическом слое и сопровождаются превращением химической и электрохимической энергии;  
 г) протекают как окислительно-восстановительные реакции в двойном электрическом слое на пространственно разделенных электродах и сопровождаются взаимопревращением химической и электрической энергии.

**Задание 21.** При электролизе водного раствора марганца (II) нитрата на инертных электродах продуктом на аноде является:

*Варианты ответов:*

- а) оксид азота (IV);  
 б) кислород;  
 в) водород;  
 г) марганец.

**Задание 22.** Связь между электрохимическим эквивалентом вещества и удельным расходом энергии на получение единицы массы вещества выражается формулой:

*Варианты ответов:*

- а)  $\psi(v - va) = \frac{V_0(v - va)}{\epsilon(v - va)}$ ;  
 б)  $q = 1/\epsilon(v - va)$ ;  
 в)  $\epsilon(v - va) = \frac{l \cdot \tau}{q}$ ;  
 г)  $\tau = \frac{\delta \cdot \rho(v - va)}{D_k \cdot \epsilon(v - va) \cdot B_T(v - va)}$ .

**Задание 23.** Причиной самопроизвольного отслаивания электролитического покрытия, либо отслаивания, шелушения или растрескивания при его механической полировке, является ...

*Варианты ответов:*

- а) завышенная плотность тока;  
 б) высокая поляризация катода;  
 в) некачественная подготовка поверхности перед нанесением покрытия;  
 г) высокая концентрация электролита.

**Задание 24.** Под малоотходным понимается такой способ электрохимического производства, при котором

*Варианты ответов:*

- а) вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня допустимого санитарно-гигиеническими нормативами;  
 б) часть сырья и материалов переходит в отходы и направляется на длительное хранение или захоронение;  
 в) отходы не образуются;  
 г) отходы образуются в незначительном количестве и они малоопасные для окружающей среды.

**Задание 25.** Экологически чистое электрохимическое производство – это такое производство, при котором

*Варианты ответов:*

- а) рационально используется сырье и энергия;  
 б) исключается использование токсичного сырья и материалов;  
 в) оказывается минимальное воздействие на окружающую среду в течение всего жизненного цикла продукта от добычи сырья до утилизации после его использования;  
 г) все варианты ответов являются верными.

**Задание 26.** Электрохимическая ячейка, в которой при замыкании цепи со 100 %-м выходом по току протекает электрохимическая реакция известной стехиометрии, называется ...

*Варианты ответов:*

- а) кондуктометр;  
 б) кулонометр;  
 в) гальванометр;  
 г) потенциостат.

**Задание 27.** К современным методам очистки сточных вод ЭХП относятся:

*Варианты ответов:*

- а) выделение из отработанных отходов ценных компонентов, сохранение работоспособности электролитов и растворов;  
 б) рекуперация, переработка отходов для их дальнейшего использования;  
 в) электрофлотация, электрокоагуляция, электродиализ, электрохимическое окисление и восстановление;  
 г) регенерация работоспособности отработанных электролитов, обезвреживание отработанных растворов, их нейтрализация.

**Задание 28.** Гидрометаллургические методы вытеснения металлов из растворов их солей другими металлами называются ...

*Варианты ответов:*

- а) цементацией;  
 б) алюмотермией;  
 в) металлотермией;

г) карбонатометрией.

*Задание 29.* Экспериментально измеренная величина электродного потенциала показывает:

*Варианты ответов:*

- а) во сколько раз она больше величины потенциала стандартного водородного электрода;
- б) во сколько раз она меньше величины потенциала стандартного водородного электрода;
- в) на сколько она меньше или больше величины потенциала стандартного водородного электрода;;
- г) абсолютное значение потенциала рабочего электрода.

*Задание 30.* Пирометаллургический способ производства хрома отличается от аналогичного способа производства железа тем, что ...

*Варианты ответов:*

- а) железная руда плавится при температуре до  $900^{\circ}\text{C}$  и легко окисляется коксом при этом; а хромитовые руды плавятся при температуре выше  $1500^{\circ}\text{C}$  в присутствии добавок, при этом получают соли, редко оксиды хрома, восстанавливаемые впоследствии либо коксом, либо алюмотермией;
- б) железные руды (железный колчедан или железняк) восстанавливают коксом в одну ступень, а хромовые руды (хромиты, шпинели) восстанавливают коксом или кремнием в несколько этапов;
- в) железные руды содержат в своем составе преимущественно оксиды железа и поэтому восстановление при высоких температурах протекает относительно легко; а хромовые руды содержат в своем составе смеси оксидов хрома и железа, поэтому для их разделения нужна более сложная технология с промежуточной стадией разделения продуктов восстановления;
- г) при обжиге железной руды в присутствии кокса получается металл, а при обжиге хромитового железняка получают соли хромовой кислоты, которые извлекают из кека выщелачиванием водой, а затем после высушивания восстанавливают коксом до металла.

## **6. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ»**

Вопросы охватывают весь курс ОЭП в его теоретической части и предназначены для выявления достигнутого уровня компетенций согласно рабочей программе, целям и задачам курса.

### ***Критерии оценки.***

Результаты сдачи промежуточной аттестации в форме экзамена определяются оценками "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно". Оценки "отлично", "хорошо", "удовлетворительно" означают успешную сдачу экзамена.

Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он отвечает на поставленные вопросы в экзаменационном билете логично, последовательно, при этом не требуются дополнительные пояснения. Делает обоснованные выводы. Соблюдает нормы литературной речи. Ответ обучающегося развернутый, уверенный, содержит четкие формулировки. Обучающийся демонстрирует всестороннее систематическое и глубокое знание программного материала; владеет понятийным аппаратом; демонстрирует способность к анализу и сопоставлению различных подходов к решению заявленной в вопросе проблематики; подтверждает теоретические постулаты примерами из практики.

Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он отвечает на поставленные вопросы систематизировано, последовательно и уверенно. Демонстрирует умение анализировать материал, однако не все его выводы носят аргументированный и доказательный характер. Соблюдает нормы литературной речи. Обучающийся обнаруживает твердое знание программного материала; знание основных закономерностей и взаимосвязей между явлениями и процессами, способен применять знание теории к решению задач профессионального характера, однако допускает отдельные погрешности и неточности при ответе.

Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он при ответе в основном знает программный материал в объеме, необходимом для предстоящей работы по профессии. При этом допускает погрешности в ответе на вопросы. Приводимые им формулировки являются недостаточно четкими, в ответах допускаются неточности. Демонстрирует поверхностное знание вопроса, имеет затруднения с выводами, но очевидно понимание обучающимся сущности основных категорий по рассматриваемым вопросам. Нарушений норм литературной речи практически не наблюдается.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он при ответе обнаруживает значительные пробелы в знаниях основного программного материала; допускает принципиальные ошибки в ответе на вопросы экзаменационного билета. Материал излагает непоследовательно, не демонстрирует наличие системы знаний. Имеет заметные нарушения норм литературной речи.

### ***ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ***

1. Сходства и различия химических и электрохимических процессов. Основные преимущества и недостатки электрохимических технологий производства химической продукции и электрической энергии. Главные отрасли применения электрохимических технологий производства. Экономическая эффективность электрохимического производства.
2. Общие теоретические представления о природе электрической энергии в химических источниках тока. Приложение законов термодинамики к электрохимическим процессам.
3. Химическое действие электрического тока на вещество: неравновесные электродные процессы; сущность законов Фарадея; выход вещества по току.
4. Кинетика электродных процессов, возникающих под действием внешнего источника тока; природа поляризации электродов, её разновидности.
5. Свойства растворов, расплавов и твердых электролитов: основы теории электролитической диссоциации; ионные равновесия в водных и неводных растворах электролитов. Приложения теории электролитической диссоциации к электрохимии: водородный показатель pH; коэффициент растворимости ограниченно растворимых соединений металлов. Расплавы электролитов и твердые электролиты.
6. Прохождение электрического тока через электролит. Электропроводность растворов и расплавов электролитов. Влияние физико-химических свойств электролитов на их электропроводность.
7. Распределение тока по поверхности электрода и рассеивающая способность электролита при электро-осаждении металлов: теоретические основы.
8. Электрохимический потенциал и химическое равновесие на гетерогенной границе электрод/раствор. Модельные представления о строении двойного электрического слоя на границе электрод-раствор.
9. Теории водородного и кислородного перенапряжения при прохождении электрического тока через электролит.
10. Анодное растворение металлов с образованием хорошо растворимых соединений. Общая характеристика пассивного состояния металлов. Пленочная и адсорбционная теории пассивации поверхности металла. Характеристика анодных процессов при электролизе.
11. Общие представления о коррозии металлов и сплавов. Механизм химической и электрохимической коррозии. Коррозионные процессы под действием тока. Зависимость интенсивности коррозии

от различных факторов. Физико-химические основы процесса антикоррозионной защиты. Химические и электрохимические методы защиты.

12. Электролиз водных растворов без выделения металлов. Производство водорода, кислорода и тяжелой воды.

13. Электролиз водных растворов без выделения металлов. Технология производства пероксида водорода, надсерной кислоты и её солей.

14. Электролиз водных растворов без выделения металлов. Технология производства хлора, хлоратов, перхлоратов и едкого натра на твердых и жидких электродах.

15. Электрохимический катодный синтез органических соединений.

16. Электрохимический анодный синтез органических соединений.

17. Электрохимические способы извлечения металлов из растворов. Электролиз с применением твердых электродов. Амальгамная металлургия – электролиз с применением жидких электродов.

18. Гидроэлектрометаллургия: технологии электролитического производства никеля, кобальта и железа.

19. Электрорафинирование: технологии производства на примере цинка и хрома.

20. Основы гальванотехники: технологические основы электроосаждения металлических покрытий на примере металлов подгруппы железа и их сплавов.

21. Технологические основы электролиза расплавленных соединений. Промышленное производство алюминия.

22. Технологии получения щелочных и щелочноземельных металлов и сплавов из расплавленных соединений. Режимы процессов. Промышленное производство фтора.

23. Основные эксплуатационные характеристики ХИТ. Требования, предъявляемые к ХИТ и выбору электрохимических систем для них.

24. Первичные ХИТ: устройство, принцип действия, перспективы модернизации. Применение первичных ХИТ.

25. Вторичные ХИТ: устройство, принцип действия при разряде и заряде ХИТ, классификация вторичных ХИТ, перспективы модернизации.

26. Воздействие компонентов электрохимического производства на окружающую среду. Оценка экологической опасности электрохимического производства. Базовые принципиальные схемы очистки промывных и сточных вод ЭХП.

### ***Система поощрения за активную работу в течение семестра.***

Условием освобождения студента от экзамена является его активная и результативная работа в течение семестра. Если по всем формам промежуточной аттестации (выполнение тестовых заданий и самостоятельных работ по разделам дисциплины, подготовка научно-исследовательского реферата, результативное выполнение лабораторного практикума, положительная аттестация по модульным формам контроля) студент набрал от 63 до 100 % баллов, он освобождается от экзамена и ему выставляется оценка согласно набранным баллам из потенциально возможных 100%:

85–100 % баллов – оценка «отлично» А;

75–84 % баллов – оценка «хорошо» В;

65–74 % баллов – оценка «хорошо» С;

51–64 % баллов – оценка «удовлетворительно» D.

Студент, набравший в течение семестра 50 и менее процентов от количества потенциальных баллов, обязан сдать итоговое тестирование и экзамен. Студент, набравший в течение семестра 51–84 % баллов, может улучшить оценку, сдав, по своему желанию, итоговое тестирование либо экзамен. Число набранных при итоговой аттестации баллов суммируется с числом баллов, набранных в течение семестра, и по образовавшейся сумме выводится итоговая оценка, проставляемая в зачетную книжку.

## 7. СИТУАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ»

1. Определите объем 2 н. раствора бромистоводородной кислоты  $\text{HBr}$ , необходимый для восстановления 0,25 моль  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  по реакции:  $\text{HBr} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{KBr} + \text{CrBr}_3 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
2. Равновесный потенциал марганцевого электрода  $\text{Mn}^{2+}|\text{Mn}$  в растворе его соли составил  $-1,23$  В. Вычислите молярную концентрацию (моль/кг) ионов  $\text{Mn}^{2+}$  в этом растворе, если коэффициент активности ионов равен 0,683.
3. Работающий гальванический элемент отвечает следующей схеме:  $(\text{Pt})\text{H}_2|(0,008\text{н.})\text{NaOH}||(\text{HCl})\text{H}_2(\text{Pt})$ . Составьте уравнения электродных процессов, определите направление движения электрического тока и вычислите ЭДС (степень диссоциации электролитов принять равной 100 %).
4. Установите, какие вещества выделяются на угольных электродах при прохождении тока через электролизеры с водными растворами  $\text{HgCl}_2$  и  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Напишите уравнения соответствующих электродных реакций.
5. В ячейку для измерения электропроводности, заполненную 0,08 М. раствором кислоты уксусной, помещены параллельные электроды площадью  $4\text{ см}^2$  на расстоянии 2 см друг от друга. При напряжении 10 В и температуре 298 К через раствор пропущен электрический ток силой 20,5 мА. Пренебрегая особенностями конструкции ячейки, определите степень диссоциации, константу диссоциации и кислотность раствора кислоты, если при указанной температуре подвижности ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  соответственно равны 349,8 и  $40,9\text{ См} \cdot \text{см}^2/\text{моль}$ . Значения подвижности ионов указаны с учетом постоянной Фарадея.
6. При температуре 298 К удельная электрическая проводимость раствора стронция хлорида с массовой долей растворенного вещества 10 % равна  $8,86 \cdot 10^{-2}\text{ См}/\text{см}$ , а плотность раствора равна  $1,0925\text{ г}/\text{см}^3$ . Определите молярную и эквивалентную электрические проводимости данного раствора.
7. Две медные пластины с площадью поверхности  $4\text{ см}^2$  расположены параллельно друг другу на расстоянии 11 см. Пространство между ними заполнено 0,68 М. раствором меди (II) сульфата. Молярная электрическая проводимость этого раствора равна  $57,4\text{ См} \cdot \text{см}^2/\text{моль}$ . Определите, какое переменное напряжение должно быть приложено к пластинам, чтобы сила тока была равна 2,8 А.
8. Рассчитайте ЭДС гальванического элемента, образованного кадмиевым и медным электродами, погруженными в растворы собственных солей с активностями ионов  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , равными соответственно 0,01 и 0,1 моль/л. Определите ёмкость, фактически полученное количество энергии и коэффициент полезного действия этого элемента, если преобразованию подверглось 11,2 г кадмия, а потери напряжения составили 115,5 мВ.
9. Определите, как изменится ЭДС гальванического элемента  $\text{Al}|\text{Al}^{3+}||\text{Cr}^{3+}|\text{Cr}$  при его работе вследствие концентрационной поляризации на электродах, если концентрация ионов алюминия увеличилась от  $1 \cdot 10^{-2}$  до  $5 \cdot 10^{-1}$  моль/л, а концентрация ионов хрома уменьшилась от  $1 \cdot 10^{-2}$  до  $2,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л.
10. Для питания различной аппаратуры используется сухой марганцево-цинковый элемент:  $(-)\text{Zn}|\text{NH}_4\text{Cl}||\text{MnO}_2|\text{C}(+)$ . Рассчитайте, какой должна быть минимальная масса цинкового анода для получения 3,0 Вт·ч энергии при ЭДС элемента, равной 1,5 В. Составьте уравнения анодного и катодного процессов.
11. Определите время, необходимое для растворения на аноде слоя вольфрама толщиной 0,1 мм с поверхности площадью  $100\text{ см}^2$  током силой 100 А, если окисление вольфрама при растворении происходит до высшей степени окисления с выходом по току 100 %, плотность вольфрама  $19,3\text{ г}/\text{см}^3$ .
12. Определите линейную скорость хромирования (мм/час) детали общей площадью  $1\text{ м}^2$ , если в гальванической ванне поддерживается ток в 1000 А, а осаждение проводится из раствора, содержащего дихромат-ионы, с выходом по току 95 %. Плотность хромового осадка  $7,19\text{ г}/\text{см}^3$ .
13. При пропускании через раствор электролита 2 А·ч электричества на аноде окислилось 1,196 г сульфид-иона. Определите электрохимический и химический эквивалент серы.
14. Рассчитайте время, необходимое для электрохимического фрезерования в титановой заготовке канавки длиной 10 см, шириной 1 см, глубиной 0,1 см при силе тока, равной 110 А и выходе по току 91 % в водном растворе натрия хлорида. Плотность титана равна  $4,5\text{ г}/\text{см}^3$ .
15. Рассчитайте величину электрохимической поляризации серебряного катода при температуре 20 °С при выделении на нем газообразного водорода из кислотного электролита. Площадь электрода  $1,0\text{ дм}^2$ , сила тока 10 А.
16. Ионы цинка из сточных вод можно удалить катодным восстановлением. Рассчитайте максимальную скорость выделения цинка из водного раствора  $\text{ZnSO}_4$  с концентрацией ионов  $\text{Zn}^{2+}$ , равной 0,1 моль/л при температуре 25 °С. Считать поляризацию чисто концентрационной, коэффициент диффузии равным  $2,8 \cdot 10^{-10}\text{ м}^2/\text{с}$ , толщину диффузного слоя – 100 мкм, плотность тока  $10\text{ А}/\text{м}^2$ .
17. Рассчитайте электрохимический эквивалент сплава Ni-Cr с одинаковым весовым содержанием никеля и хрома в сплаве, если никель растворяется до  $\text{Ni}^{2+}$ , а хром до высшей степени окисления  $\text{Cr(VI)}$ .
18. Определите выход по току процесса растворения сплава Fe-Cr, содержащего 21 % хрома, если железо переходит в электролит в высшей степени окисления, а хром – в виде катионов  $\text{Cr}^{3+}$ . Через 100 с после начала процесса, проходившего под током силой 100 А, в растворе обнаружено по 0,5 г железа и хрома.

19. Определите линейную скорость (мм/мин) растворения стальной пластины (сталь содержит 18 % никеля) площадью  $10 \text{ см}^2$ , если в системе поддерживается ток в 1000 А, железо и никель растворяются до степени окисления +2, плотность стали составляет  $8,05 \text{ г/см}^3$ .

20. Определите, возможна ли в стандартных условиях электрохимическая коррозия олова (Sn) в водном растворе с  $pH = 6$  при контакте с воздухом, относительные парциальные давления водорода и кислорода в котором равны соответственно 0,01 и 0,21. Напишите уравнения реакций анодного и катодного процессов.

21. Определите, будет ли защищено от коррозионного разрушения в стандартных условиях эксплуатации цинковое изделие, если его покрыть слоем электролитической меди и погрузить в 0,01 М. раствор серной кислоты. Напишите уравнения возможных процессов.

22. Напишите уравнения реакций электрохимической коррозии сплава железо-палладий Fe – Pd при  $pH = 10$  и температуре  $25^\circ\text{C}$ . Рассчитайте, сколько и какого металла подверглось коррозии, если при этом поглотилось 28 мл кислорода и выделилось 112 мл водорода (объемы газов приведены к нормальным условиям). Предложите анодное и катодное покрытие для защиты этого сплава от электрохимической коррозии.

23. Определите число электронов, участвующих в окислительно-восстановительной реакции, если  $\varphi_{\text{Ox/Red}} = 0,188 \text{ В}$ ,  $\varphi_{\text{Ox/Red}}^0 = 0,150 \text{ В}$  при температуре  $25^\circ\text{C}$  и в этой системе окисленной формы в 10 раз больше, чем восстановленной.

24. Рассчитайте теоретические потенциалы разложения и напряжение разложения подкисленного ( $pH = 5$ ) водного раствора железа (III) сульфата  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  при электролизе в стандартных условиях на платиновых электродах при плотности тока  $1 \frac{\text{А}}{\text{см}^2}$ , если концентрация ионов железа (III) в при катодном пространстве уменьшилась на 15 %, а кислотность в при анодном пространстве увеличилась на  $\Delta pH = 0,05$ . Дайте полную схему всех возможных и реальных процессов.

25. Серия из 150 непрерывно работающих алюминиевых электролизеров ( $N = 150$ ) с нагрузкой на них тока силой 150 кА ( $I = 150 \text{ кА}$ ) произвела за месяц работы ( $\tau = 30$  суток) 4700 т металла ( $m(\text{Al})_{\text{факт.}} = 4700 \text{ т}$ ), содержащего 0,5 % примесей. Среднее напряжение на серии электролизеров составило 695 В ( $U = 695 \text{ В}$ ). Рассчитайте выход по току и удельный расход электроэнергии для получения алюминия из расплава его оксида на угольных электродах (в расчете на 100 % чистого металла) в серии электролизеров.

26. Токсичные ионы свинца можно удалить из сточных вод катодным восстановлением  $\text{Pb}^{2+}$  по реакции  $\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Pb}$ . Рассчитайте предельную плотность тока и концентрационную поляризацию катода при выделении свинца из воды, содержащей 0,2 г/л  $\text{Pb}^{2+}$ , принимая площадь катода  $5 \text{ дм}^2$ , плотность тока  $15 \text{ А/м}^2$ , время очистки 10 ч (коэффициент диффузии ионов  $D(\text{Pb}^{2+}) = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ ; толщина диффузного слоя  $\delta = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ ).

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Антропов, Л. И. Теоретическая электрохимия: учебник для хим.-технолог. спец. вузов / Л. И. Антропов. – 4-е изд., пераб. и доп. – Москва : – Высш. шк., 1984. – 519 с.
2. Багоцкий, В. С. Основы электрохимии: учебник для вузов / В. С. Багоцкий. – Москва : Химия, 1988. – 400 с.
3. Багоцкий, В. С. Химические источники тока / В.С. Багоцкий, А. М. Скундин. – Москва : Энергия, 1981.
4. Беляев, В. В. Основы промышленной экологии электрохимических производств. Лабораторный практикум: учебное пособие / В. В. Беляев, В. В. Исаев, В. А. Козырин. – Нижний Новгород : Изд-во НГТУ. – 2015. – 12 с.
5. Блинков, Б. С. Электроосаждение сплавов на основе железа / Б. С. Блинков, В. В. Серебровский, Е. С. Калущий. – Курск : Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 3. – С. 12–18.
6. Бомешко, Е. В. Электроосаждение двойных и тройных сплавов на основе железа и хрома: теоретические представления и практические рекомендации / Е. В. Бомешко, Н. И. Корнейчук. – Тирасполь : Вестник Приднестровского университета. Сер.: Физико-математические и технические науки. – № 3. – 2019. – с. 153–165.
7. Бомешко, Е. В. Курс лекций по химии: учебное пособие / Е. В. Бомешко. – Тирасполь : Изд-во Приднестр. ун-та, 2010. – 536 с. – Текст : непосредственный.
8. Бомешко, Е. В. Практикум по общей химии: учебное пособие / Е. В. Бомешко, Н. К. Попова. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2006. – 80 с. – Текст : непосредственный.
9. Бусько, В. И. Электроосаждение железа и его сплавов // Практика противокоррозионной защиты / В. И. Бусько, В. В. Жуликов. – 2021. – Т. 26. – № 1. – С. 48–61.
10. Бусько, В. И. Особенности процессов получения порошков сплавов железо-никель и железо-молибден при высоких плотностях тока / Гальванотехника и обработка поверхности / В. И. Бусько, А. А. Зверев, В. В. Кузнецов. – 2014. – № 4. – С. 17–21.
11. Вапиров, В. В. Основы электрохимии / В. В. Вапиров, Е. Я. Ханина, Т. Я. Волкова. – Петрозаводск : ПетрГУ, 2000. – 38 с.
12. Виноградов, С. С. Экологически безопасное гальваническое производство / Под ред. проф. В. Н. Кудрявцева. – Москва : Производственно-издательское предприятие «Глобус», 1998. – 302 с.
13. Вырыпаев, В. Н. Химические источники тока: учебное пособие для хим.-технолог. спец. вузов / В. Н. Вырыпаев, М. А. Дасоян, В. А. Никольский; под ред. В. Н. Вырыпаева. – Москва : Высш. шк., 1990. – 240 с.
14. Вячеславов, П. М. Электролитические сплавы / П. М. Вячеславов. – Ленинград : Машиностроение. – 1984. – 140 с.
15. Гамбург, Ю. Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению / Ю. Д. Гамбург. – Москва : Техносфера, 2006. – 206 с.
16. Гилевич, М. П. Задачи по электрохимии / М. П. Гилевич, Л. М. Володкович, А. А. Савицкий, О. И. Гончар. – Минск : БГУ, 2006. – 139 с.
17. Григорьев, Л. Н. Промышленная экология. Часть 1. Учебное пособие / Л. Н. Григорьев, Т. И. Буренина. – Санкт-Петербург : СПб ГТУ. – 2004. – 104 с.
18. Грилихес, С. Я. Электрохимические и химические покрытия / С. Я. Грилихес, К. Н. Тихонов. – Москва : Химия, 1990. – 288 с.
19. Дамаскин, Б. Б. Практикум по электрохимии / Москва : Высш. шк., 1991. – 288 с.
20. Дамаскин, Б. Б. Электрохимия: учебник для вузов / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цырлина. – Санкт-Петербург : Изд-во «Лань», 2015. – 672 с.
21. Данилов, Ф. И. Электроосаждение сплава Ni-Fe из метансульфонатных электролитов / Ф. И. Данилов, И. В. Скляр, Ю. Е. Скляр // Электрохимия. – 2014. – Т. 50. – № 3. – С. 326–330.
22. Дикусар, А. И. Основы электрохимии и электрохимических технологий: учебное пособие / А. И. Дикусар, Ж. И. Бобанова, С. П. Ющенко. – Тирасполь : Изд-во ПГУ, 2005. – 165 с.
23. Задачи и упражнения по общей химии: учебное пособие / Б. И. Адамсон, О. Н. Гончарук, В. Н. Камышова и др.; под ред. Н. В. Коровина. – 3-е изд., испр. – Москва : Высш. шк., 2006. – 255 с.
24. Измайлов, Н. А. Электрохимия растворов: учебное пособие. – Москва : Химия, 1986. – 488 с.
25. Кедринский, И. А. Химические источники тока с литиевым электродом / И. А. Кедринский, В. Е. Дмитренко, И. И. Грудянов. – Красноярск : изд. Краснояр. ун-та, 1983. – 247 с.
26. Коровин, Н. В. Общая химия. Теория и задачи: учебное пособие / Н. В. Коровин, Н. В. Кулешов. – Москва : Химия, 2014. – 496 с.
27. Коровин, Н. В. Химические источники тока. Справочник / Н. В. Коровин, А. М. Скундин. – Москва : МЭИ, 2003. – 740 с.
28. Красиков, В. Л. Механизм электроосаждения хрома – частный случай механизма индуцированного соосаждения металлов / В. Л. Красиков, А. В. Красиков. – Электрохимия. – 2020. – Т. 56. – № 6. – С. 494–499.
29. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. – Санкт-Петербург : Изд. Иван Федоров, 2003. – 66 с.
30. Кудрявцев, Н. Т. Прикладная электрохимия: учебник для вузов / Н. Т. Кудрявцев. – Москва : Химия, 1975. – 551 с.

31. Лайнер, В. И. Защитные покрытия металлов: учебное пособие / В. И. Лайнер. – Москва : Металлургия, 1993. – 560 с.
32. Лукомский, Ю. Я. Физико-химические основы электрохимии: учебное пособие для вузов / Ю. Я. Лукомский, Ю. Д. Гамбург. – Долгопрудный : Изд. Дом «Интеллект», 2013. – 448 с.
33. Михайлов, В. А. Сборник химических задач по ТРИЗ / А. В. Михайлов. – Чебоксары : ЧувГУ. – 2003. – 55 с.
34. Органическая электрохимия: в двух книгах / Под ред. М. Бейзера и Х. Лунда. – Пер. с англ. / Под ред. В. А. Петросяна и Л. Г. Феокистова. – Москва : Химия, 1988. – 1024 с.
35. Павлов, Л. Н. Электроосаждение Cr-C-W покрытий из водно-диметилформамидных растворов хлорида хрома (III) / Автореферат дис. к.х.н. – Москва, 2016. – 32 с.
36. Паршутин, В. В. Повышение коррозионной стойкости гальванических покрытий на основе железа / В. В. Паршутин, В. Г. Ревенко, А. И. Шкурпело, Е. А. Пасинковский // Электронная обработка материалов. – 2003. – № 5. – С. 27–37.
37. Передерина, И. А. и др. Сборник задач и упражнений по химии: учебное пособие / И. А. Передерина, А. С. Галактионов, М. О. Быстрова, М. С. Юсубов. – Томск : Изд-во СибГМУ, 2012. – 100 с.
38. Попова, С. С. Электрохимическое поведение меди в растворах вольфраматов и молибдатов в щелочных растворах / С. С. Попова, А. Е. Гоц, А. В. Россошанский, С. Ю. Савченко. – Саратов : Вестник СГТУ, 2013. – № 1 (69).
39. Практикум по прикладной электрохимии: учебное пособие для вузов / Н. Г. Бахчисарайцыян, Ю. В. Борисоглебский, Г. К. Бурка и др. / Под ред. В. Н. Вырыпаева, В. Н. Кудрявцева. – 3-е изд. перераб. – Ленинград : Химия, 1990. – 304 с.
40. Практикум по прикладной электрохимии: учебное пособие / В. П. Полудова. – Калининград, 2000. – 45 с.
41. Прикладная электрохимия: учебное пособие / Под ред. А. Л. Ротиняна. – Санкт-Петербург : Химия, 1984. – 536 с.
42. Прикладная электрохимия: учебник для вузов / Под ред. проф. А. П. Томилова. – 3-е изд., перераб. – Москва : Химия, 1984. – 520 с.
43. Родионов, А. И. Техника защиты окружающей среды: учебник для вузов / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торочешников. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва : Химия, 1989. – 512 с.
44. Ротинян, А. Л. Теоретическая электрохимия: учебник для вузов / А. Л. Ротинян, Н. И. Тихонов, И. А. Шошина. – Ленинград : Химия, 1981. – 412 с.
45. Сборник задач по электрохимии / Под ред. Н. А. Колпаковой. – Москва : Высш.шк., 2003. – 146 с.
46. Сваровская, Н. А. Электрохимия растворов электролитов. Учебное пособие в 2-х частях / Н. А. Сваровская, И. М. Колесников, В. А. Винокуров. – Москва : Издат. центр РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, 2017. – 66 с.
47. Семиохин, И. А. Сборник задач по электрохимии / И. А. Семиохин. – Москва : Изд-во МГУ, 2006. – 96 с.
48. Серебровская, Л. Н. Электроосаждение сплавов железо-хром / Л. Н. Серебровская, А. В. Серебровский, Д. Л. Шутченко // Региональный вестник. – 2016. – № 1. – С. 46–47.
49. Сосновская, Н. Г. Экологическая безопасность электрохимических производств: учебно-методическое пособие / Н. Г. Сосновская. – Ангарск : Изд. АГТА, 2008. – 94 с.
50. Степин, Б. Д. Применение международной системы единиц физических величин в химии / Б. Д. Степин. – Москва : Высш. шк., 1990. – 20 с.
51. Стромберг, А. Г. Физическая химия: учебник для хим. спец. вузов / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко. – 4-е изд., испр. – Москва : Высш. шк., 2001. – 527 с.
52. Тамбург, Ю. Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению / Ю. Д. Тамбург. – Москва : Техносфера, 2006. – 216 с.
53. Томашов, Н. Д. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные материалы / Н. Д. Томашов, Г. П. Чернова. – Москва : Металлургия. – 1986. – 218 с.
54. Феттер, К. Электрохимическая кинетика / К. Феттер. – Москва : Химия, 1967.
55. Флёрв, В. Н. Сборник задач по прикладной электрохимии: учебное пособие для вузов / В. Н. Флёрв. – Москва : Высш. шк., 1987. – 306 с.
56. Хенце, Г. Поляррография и вольтамперометрия. Теоретические основы и аналитическая практика / Пер. с нем. – Москва : Бином. Лаб. Знаний. – 2014. – 45 с.
57. Чибисова, Н. В. Практикум по экологической химии: учебное пособие / Н. В. Чибисова. – Калининград: Калинингр. ун-т, 1999. – 94 с.
58. Шишмина, Л. В. Химия нефти и газа: лабораторный практикум / Л. В. Шишмина, О. В. Носова. – Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2010. – 121 с.
59. Электроаналитические методы. Теория и практика / Под ред. Ф. Шольца. – Москва : Бином. Лаб. знаний, – 2009. – 93 с.
60. Электроосаждение металлических покрытий. Справ. изд. / М. А. Беленький, А. Ф. Иванов. – Москва : Металлургия, 1985. – 288 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

### Термодинамические характеристики некоторых веществ при стандартных условиях

Таблица 1.1  
Стандартные энтальпии образования, значения свободной энергии и энтропии неорганических и органических веществ в различных агрегатных состояниях

| Вещество                                           | $\Delta H_{\text{обр}}^0$ , кДж/моль | $\Delta G^0$ , кДж/моль | $S^0$ , Дж/моль·К |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Ag <sub>(т)</sub>                                  | 0                                    | 0                       | 42,69             |
| AgBr <sub>(т)</sub>                                | –99,16                               | –94,90                  | 107,10            |
| AgCl <sub>(т)</sub>                                | –127,07                              | –109,70                 | 96,11             |
| AgI <sub>(т)</sub>                                 | –64,20                               | –66,30                  | 144,20            |
| AgF <sub>(т)</sub>                                 | –202,90                              | –184,90                 | 83,70             |
| AgNO <sub>3(т)</sub>                               | –120,70                              | –32,20                  | 140,90            |
| Ag <sub>2</sub> CO <sub>3(т)</sub>                 | –506,10                              | –437,10                 | 167,40            |
| Ag <sub>2</sub> O <sub>(т)</sub>                   | –30,56                               | –10,82                  | 121,81            |
| AgO <sub>(т)</sub>                                 | –44,60                               | –40,80                  | 57,78             |
| Al <sub>(т)</sub>                                  | 0                                    | 0                       | 28,32             |
| Al <sub>(г)</sub>                                  | 314,00                               | 273,00                  | 164,44            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3(т)</sub>                  | –1676,00                             | –1580,00                | 50,94             |
| Al(OH) <sub>3(т)</sub>                             | –1275,70                             | –1139,72                | 71,10             |
| AlCl <sub>3(т)</sub>                               | –697,40                              | –636,80                 | 167,00            |
| Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3(т)</sub> | –3434,00                             | –3091,90                | 239,20            |
| As <sub>(т)</sub>                                  | 0                                    | 0                       | 35,10             |
| As <sub>2</sub> O <sub>3(т)</sub>                  | –656,80                              | –575,00                 | 107,10            |
| As <sub>2</sub> O <sub>5(т)</sub>                  | –918,00                              | –772,40                 | 105,40            |
| Au <sub>(т)</sub>                                  | 0                                    | 0                       | 47,65`            |
| AuF <sub>(т)</sub>                                 | –74,30                               | –58,60                  | 96,40             |
| AuF <sub>3(т)</sub>                                | –348,53                              | –297,48                 | 114,20            |
| AuCl <sub>3(т)</sub>                               | –118,40                              | –48,53                  | 146,40            |
| Au(OH) <sub>3(т)</sub>                             | –418,40                              | –289,95                 | 121,30            |
| B <sub>(т)</sub>                                   | 0                                    | 0                       | 5,87              |
| BBr <sub>3(ж)</sub>                                | –221,00                              | –219,00                 | 229,00            |
| B <sub>2</sub> O <sub>3(т)</sub>                   | –1264,00                             | –1184,00                | 53,85             |
| B <sub>2</sub> H <sub>6(г)</sub>                   | 31,40                                | 82,80                   | 232,90            |
| Ba <sub>(т)</sub>                                  | 0                                    | 0                       | 64,90             |
| BaCO <sub>3(т)</sub>                               | –1202,00                             | –1138,80                | 112,10            |
| BaSO <sub>4(т)</sub>                               | –1352,00                             | –1465,00                | 131,80            |
| BaO <sub>(т)</sub>                                 | –557,90                              | –528,40                 | 70,29             |
| Ba(OH) <sub>2(т)</sub>                             | –943,49                              | –855,42                 | 100,83            |
| Be <sub>(т)</sub>                                  | 0                                    | 0                       | 9,54              |
| Be <sub>3</sub> N <sub>2(т)</sub>                  | –568,00                              | –512,00                 | –                 |
| BeO <sub>(т)</sub>                                 | –598,70                              | –581,60                 | 14,10             |
| BeCO <sub>3(т)</sub>                               | –983,60                              | –944,70                 | 199,40            |
| Bi <sub>(т)</sub>                                  | 0                                    | 0                       | 56,90             |
| Bi <sub>2</sub> O <sub>3(т)</sub>                  | –577,00                              | –496,30                 | 151,50            |
| BiCl <sub>3(г)</sub>                               | –270,70                              | –260,20                 | 356,90            |
| BiCl <sub>3(т)</sub>                               | –379,10                              | –318,90                 | 189,50            |
| Bi <sub>2</sub> S <sub>3(т)</sub>                  | –183,30                              | –164,90                 | 147,70            |
| Br <sub>2(ж)</sub>                                 | 0                                    | 0                       | 152,30            |
| Br <sub>2(г)</sub>                                 | 30,92                                | 3,14                    | 245,35            |
| HBr <sub>(г)</sub>                                 | –36,23                               | –53,22                  | 198,48            |
| C <sub>(алмаз)</sub>                               | 1,83                                 | 2,85                    | 2,38              |
| C <sub>(графит)</sub>                              | 0                                    | 0                       | 5,74              |
| C <sub>(г)</sub>                                   | 716,67                               | 671,28                  | 157,99            |
| C <sub>2(г)</sub>                                  | 830,86                               | 774,86                  | 199,31            |

| Вещество                                                                 | $\Delta H_{\text{обр}}^0$ , кДж/моль | $\Delta G^0$ , кДж/моль | $S^0$ , Дж/моль·К |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| $\text{CF}_{4(\text{r})}$                                                | —                                    | –635,10                 | —                 |
| $\text{CO}_{(\text{r})}$                                                 | –110,50                              | –137,14                 | 197,54            |
| $\text{CO}_{2(\text{r})}$                                                | –393,51                              | –394,38                 | 213,68            |
| $\text{COCl}_{2(\text{r})}$                                              | –219,50                              | –205,30                 | 283,60            |
| $\text{CCl}_{4(\text{r})}$                                               | –106,70                              | –63,95                  | 309,70            |
| $\text{CS}_{2(\text{r})}$                                                | 115,30                               | 65,10                   | 237,80            |
| $\text{CS}_{2(\text{ж})}$                                                | 87,80                                | 63,60                   | 151,00            |
| $\text{CH}_{4(\text{r})}$                                                | –74,85                               | –50,79                  | 186,19            |
| $\text{C}_2\text{H}_{2(\text{r})}$                                       | 226,75                               | 209,20                  | 200,80            |
| $\text{C}_2\text{H}_{4(\text{r})}$                                       | 52,28                                | 68,11                   | 219,40            |
| $\text{C}_2\text{H}_{6(\text{r})}$                                       | –84,68                               | –32,89                  | 229,50            |
| $\text{C}_3\text{H}_{6(\text{r})}$                                       | 20,42                                | 62,70                   | 226,90            |
| $\text{C}_3\text{H}_{8(\text{r})}$                                       | –103,85                              | –23,49                  | 269,90            |
| $\text{C}_4\text{H}_{8(\text{r})}$                                       | –0,13                                | 71,50                   | 307,40            |
| $\text{C}_4\text{H}_{10(\text{r})}$                                      | –124,70                              | –17,15                  | 310,00            |
| $\text{C}_6\text{H}_{6(\text{r})}$                                       | 82,93                                | 129,70                  | 269,20            |
| $\text{C}_6\text{H}_6(\text{ж})$                                         | 49,00                                | 124,50                  | 172,80            |
| $\text{H} - \text{C}_8\text{H}_{18}(\text{ж})$                           | –250,00                              | 6,48                    | 360,80            |
| $\text{CH}_3\text{OH}(\text{ж})$                                         | –238,60                              | –166,23                 | 126,80            |
| $\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{r})}$                                      | –201,20                              | –161,90                 | 239,70            |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{r})}$                             | –235,30                              | –167,40                 | 278,00            |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})$                                | –277,70                              | –174,76                 | 160,70            |
| $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{ж})$                                       | –484,90                              | –392,46                 | 159,80            |
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(\text{r})}$                          | –1274,00                             | —                       | —                 |
| $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(\text{r})}$                      | –2222,00                             | —                       | —                 |
| <b>Ca</b> <sub>(т)</sub>                                                 | 0                                    | 0                       | 41,42             |
| $\text{CaO}_{(\text{т})}$                                                | –635,10                              | –604,20                 | 39,70             |
| $\text{CaC}_2_{(\text{т})}$                                              | –62,70                               | –67,80                  | 70,30             |
| $\text{CaCl}_{2(\text{т})}$                                              | –785,80                              | –750,20                 | 113,80            |
| $\text{CaF}_2_{(\text{т})}$                                              | –1214,00                             | –1161,00                | 68,87             |
| $\text{Ca}_3\text{N}_{2(\text{т})}$                                      | –431,80                              | –368,60                 | 104,60            |
| $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{т})}$                                     | –986,20                              | –896,76                 | 83,40             |
| $\text{CaSO}_4_{(\text{т})}$                                             | –1424,00                             | –1320,30                | 106,70            |
| $\text{CaCO}_3_{(\text{т})}$                                             | –1206,68                             | –1128,80                | 92,90             |
| $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_{2(\text{т})}$                                 | –4125,00                             | –3899,50                | 240,90            |
| $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7_{(\text{т})}$                           | –3329,21                             | –3126,55                | 189,24            |
| $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{т})}$ | –4499,41                             | –4067,27                | 365,68            |
| $\text{CaSiO}_3_{(\text{т})}$                                            | –1579,00                             | –1495,40                | 87,45             |
| $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{т})}$                   | –1762,30                             | –1565,20                | 184,10            |
| <b>Cd</b> <sub>(т)</sub>                                                 | 0                                    | 0                       | 51,76             |
| $\text{CdO}_{(\text{т})}$                                                | –256,10                              | –225,00                 | 54,80             |
| $\text{Cd}(\text{OH})_{2(\text{т})}$                                     | –553,20                              | –470,20                 | 95,40             |
| $\text{CoO}_{(\text{т})}$                                                | –239,00                              | –213,00                 | 43,90             |
| $\text{CoCO}_3_{(\text{т})}$                                             | –723,00                              | –650,00                 | —                 |
| <b>Cl</b> <sub>2(r)</sub>                                                | 0                                    | 0                       | 222,96            |
| $\text{Cl}_{(\text{r})}$                                                 | –121,39                              | 105,44                  | 165,08            |
| $\text{HCl}_{(\text{r})}$                                                | –92,30                               | –95,27                  | 186,70            |
| $\text{HCl}_{(\text{ж})}$                                                | –167,50                              | –131,20                 | 55,20             |
| $\text{HClO}_{(\text{ж})}$                                               | –116,40                              | 80,00                   | 129,70            |
| $\text{ClO}_{2(\text{r})}$                                               | 105,00                               | 122,30                  | 257,0             |
| $\text{Cl}_2\text{O}_{7(\text{ж})}$                                      | 251,00                               | —                       | —                 |
| <b>Cr</b> <sub>(т)</sub>                                                 | 0                                    | 0                       | 23,76             |
| $\text{Cr}_2\text{O}_3_{(\text{т})}$                                     | –1440,60                             | –1046,84                | 81,10             |
| $\text{CrO}_3_{(\text{т})}$                                              | –594,50                              | –505,80                 | 72,00             |
| $\text{Cr}(\text{CO})_{6(\text{т})}$                                     | –1075,62                             | –982,00                 | 359,40            |

| Вещество                             | $\Delta H_{\text{обр}}^0$ , кДж/моль | $\Delta G^0$ , кДж/моль | $S^0$ , Дж/моль·К |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| <b>Cs</b> <sub>(т)</sub>             | 0                                    | 0                       | 84,35             |
| CsCl <sub>(aq)</sub>                 | –415,00                              | –371,00                 | 188,00            |
| Cs <sub>2</sub> SO <sub>4(aq)</sub>  | –1400,00                             | –1310,00                | 283,00            |
| Cs <sub>2</sub> O <sub>(т)</sub>     | –317,60                              | –274,50                 | 123,80            |
| CsOH <sub>(т)</sub>                  | –406,50                              | –355,20                 | 77,80             |
| <b>Cu</b> <sub>(т)</sub>             | 0                                    | 0                       | 33,30             |
| Cu <sub>2</sub> O <sub>(т)</sub>     | –167,36                              | –146,36                 | 93,93             |
| CuO <sub>(т)</sub>                   | –165,30                              | –127,19                 | 42,64             |
| Cu(OH) <sub>2(т)</sub>               | –443,90                              | –356,90                 | 79,50             |
| CuF <sub>2(т)</sub>                  | –530,90                              | –485,30                 | 84,50             |
| CuCl <sub>2(т)</sub>                 | –172,40                              | –131,40                 | 118,80            |
| CuCl <sub>(т)</sub>                  | –133,60                              | –116,00                 | 91,20             |
| CuBr <sub>(т)</sub>                  | –141,42                              | –126,78                 | 142,34            |
| CuI <sub>2(т)</sub>                  | –21,34                               | –23,85                  | 159,00            |
| Cu <sub>2</sub> S <sub>(т)</sub>     | –82,01                               | –86,19                  | 119,24            |
| CuS <sub>(т)</sub>                   | –48,50                               | –48,95                  | 66,50             |
| CuSO <sub>4(т)</sub>                 | –771,10                              | –661,91                 | 133,30            |
| CuCO <sub>3(т)</sub>                 | –594,96                              | –517,96                 | 87,90             |
| Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2(т)</sub> | –307,11                              | –114,22                 | 193,00            |
| <b>F</b> <sub>2(г)</sub>             | 0                                    | 0                       | 202,90            |
| HF <sub>(г)</sub>                    | –268,61                              | –270,70                 | 173,51            |
| <b>Fe</b> <sub>(т)</sub>             | 0                                    | 0                       | 27,15             |
| Fe <sub>3</sub> C <sub>(ж)</sub>     | 25,02                                | 19,91                   | 107,53            |
| Fe <sub>2</sub> N <sub>(г)</sub>     | –3,77                                | 10,88                   | 101,25            |
| FeO <sub>(т)</sub>                   | –263,80                              | –244,30                 | 58,79             |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3(т)</sub>    | –822,16                              | –740,98                 | 89,96             |
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4(т)</sub>    | –1117,70                             | –1014,20                | 146,40            |
| FeS <sub>(т)</sub>                   | –95,10                               | –97,60                  | 67,40             |
| FeCl <sub>2(т)</sub>                 | –341,00                              | –302,08                 | 119,66            |
| FeCl <sub>3(т)</sub>                 | –405,00                              | –336,39                 | 130,10            |
| Fe(OH) <sub>3(т)</sub>               | –824,25                              | –694,54                 | 96,23             |
| FeSO <sub>4(т)</sub>                 | –922,57                              | –829,69                 | 107,51            |
| FeCO <sub>3(т)</sub>                 | –744,75                              | –637,88                 | 92,90             |
| H <sub>(г)</sub>                     | 217,94                               | 203,26                  | 114,60            |
| <b>H</b> <sub>2(г)</sub>             | 0                                    | 0                       | 130,58            |
| H <sub>2</sub> O <sub>(г)</sub>      | –241,82                              | –228,61                 | 188,70            |
| H <sub>2</sub> O <sub>(ж)</sub>      | –285,84                              | –237,20                 | 70,08             |
| H <sub>2</sub> O <sub>(т)</sub>      | –291,85                              | –235,50                 | 44,10             |
| H <sub>2</sub> O <sub>2(ж)</sub>     | –187,80                              | –120,40                 | 109,60            |
| HCN <sub>(г)</sub>                   | 130,50                               | 120,00                  | 201,80            |
| HNO <sub>3(ж)</sub>                  | –174,30                              | –80,30                  | 156,60            |
| HNO <sub>3(г)</sub>                  | –133,85                              | –73,60                  | 266,18            |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4(ж)</sub>    | –811,30                              | –690,30                 | 156,90            |
| H <sub>3</sub> PO <sub>4(ж)</sub>    | –1271,90                             | –1147,25                | 200,80            |
| H <sub>3</sub> PO <sub>3(ж)</sub>    | –972,00                              | –                       | –                 |
| H <sub>3</sub> PO <sub>2(ж)</sub>    | –609,00                              | –                       | –                 |
| Hg <sub>(ж)</sub>                    | 0                                    | 0                       | 77,40             |
| Hg <sub>(г)</sub>                    | 60,84                                | –31,76                  | 174,89            |
| HgO <sub>(кр.,т)</sub>               | –90,80                               | –58,30                  | 70,30             |
| HgCl <sub>2(т)</sub>                 | –230,12                              | –185,77                 | 144,35            |
| Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2(т)</sub>   | –264,85                              | –210,66                 | 185,81            |
| HgBr <sub>2(т)</sub>                 | –170,30                              | –150,00                 | 162,80            |
| Hg <sub>2</sub> Br <sub>2(т)</sub>   | –206,77                              | –178,72                 | 213,00            |
| HgI <sub>2</sub> – α <sub>(т)</sub>  | –105,40                              | –100,62                 | 176,60            |
| HgS <sub>(кр.,т)</sub>               | –58,16                               | –48,83                  | 77,80             |

| Вещество                                         | $\Delta H_{\text{обр}}^0$ , кДж/моль | $\Delta G^0$ , кДж/моль | $S^0$ , Дж/моль·К |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Hg <sub>2</sub> SO <sub>4(т)</sub>               | –741,99                              | –623,92                 | 200,75            |
| I <sub>2(т)</sub>                                | 0                                    | 0                       | 116,73            |
| I <sub>2(г)</sub>                                | 62,24                                | 19,37                   | 260,58            |
| HI <sub>(г)</sub>                                | 25,94                                | 1,30                    | 206,30            |
| K <sub>(т)</sub>                                 | 0                                    | 0                       | 64,35             |
| K <sub>2</sub> O <sub>(т)</sub>                  | –361,50                              | –333,50                 | 94,00             |
| KOH <sub>(т)</sub>                               | –425,80                              | –380,20                 | 59,41             |
| KCl <sub>(т)</sub>                               | –435,90                              | –408,30                 | 82,70             |
| KBr <sub>(т)</sub>                               | –392,17                              | –379,20                 | 92,26             |
| KI <sub>(т)</sub>                                | –327,65                              | –322,31                 | 104,35            |
| KMnO <sub>4(т)</sub>                             | –813,40                              | –713,80                 | 171,72            |
| KNO <sub>3(т)</sub>                              | –492,71                              | –393,13                 | 123,93            |
| KNO <sub>2(т)</sub>                              | –370,28                              | –281,58                 | 117,17            |
| K <sub>2</sub> SO <sub>4(т)</sub>                | –1433,44                             | –1316,37                | 175,73            |
| KHSO <sub>4(т)</sub>                             | –1158,10                             | –1043,49                | 187,89            |
| K <sub>2</sub> CO <sub>3(т)</sub>                | –1150,18                             | –1064,87                | 155,52            |
| K <sub>2</sub> CrO <sub>4(т)</sub>               | –1385,74                             | –1277,84                | 200,00            |
| K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7(т)</sub> | –2067,27                             | –1887,85                | 291,21            |
| KH <sub>(т)</sub>                                | –56,90                               | –38,49                  | 67,95             |
| Li <sub>(т)</sub>                                | 0                                    | 0                       | 28,03             |
| Li <sub>2</sub> O <sub>(т)</sub>                 | –595,80                              | –560,20                 | 37,90             |
| LiOH <sub>(т)</sub>                              | –487,80                              | –443,09                 | 42,81             |
| LiCl <sub>(т)</sub>                              | –408,78                              | –383,20                 | 59,50             |
| LiNO <sub>3(т)</sub>                             | –482,33                              | –389,50                 | 105,40            |
| Li <sub>2</sub> CO <sub>3(т)</sub>               | –1215,61                             | –1132,40                | 90,30             |
| Li <sub>2</sub> SO <sub>4(т)</sub>               | –1435,86                             | –1321,28                | 114,00            |
| Mg <sub>(т)</sub>                                | 0                                    | 0                       | 32,55             |
| MgC <sub>(т)</sub>                               | –601,49                              | –569,27                 | 27,07             |
| MgO <sub>(т)</sub>                               | –601,24                              | –569,40                 | 26,94             |
| Mg(OH) <sub>2(т)</sub>                           | –924,66                              | –833,80                 | 63,14             |
| Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2(т)</sub>             | –789,60                              | –588,40                 | 164,00            |
| MgCO <sub>3(т)</sub>                             | –1112,90                             | –1029,30                | 65,69             |
| MgSO <sub>4(т)</sub>                             | –1278,20                             | –1173,60                | 91,63             |
| MgCl <sub>2(т)</sub>                             | –641,60                              | –592,10                 | 89,60             |
| MgSiO <sub>3(т)</sub>                            | –370,11                              | –349,33                 | 16,19             |
| Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4(т)</sub>              | –520,24                              | –491,72                 | 22,73             |
| MgTiO <sub>3(т)</sub>                            | –375,50                              | –354,37                 | 17,80             |
| Mg <sub>2</sub> TiO <sub>4(т)</sub>              | –517,00                              | –489,13                 | 27,52             |
| MgAl <sub>2</sub> O <sub>4(т)</sub>              | –551,20                              | –521,36                 | 19,27             |
| Mn <sub>(т)</sub>                                | 0                                    | 0                       | 31,76             |
| MnO <sub>(т)</sub>                               | –384,90                              | –363,20                 | 60,30             |
| MnO <sub>2(т)</sub>                              | –519,40                              | –464,80                 | 53,14             |
| Mn <sub>2</sub> O <sub>3(т)</sub>                | –971,11                              | –896,60                 | 95,80             |
| Mn <sub>3</sub> O <sub>4(т)</sub>                | –1386,50                             | –1280,40                | 148,50            |
| MnCO <sub>3(т)</sub>                             | –881,66                              | –811,40                 | 109,54            |
| MnCl <sub>2(т)</sub>                             | –481,16                              | –440,41                 | 118,24            |
| MnSO <sub>4(т)</sub>                             | –1063,74                             | –956,00                 | 112,13            |
| MnS <sub>(т)</sub>                               | –199,16                              | –200,90                 | 78,20             |
| Mo <sub>(т)</sub>                                | 0                                    | 0                       | 28,58             |
| MoO <sub>3(т)</sub>                              | –754,50                              | –677,60                 | 78,20             |
| N <sub>2(г)</sub>                                | 0                                    | 0                       | 191,50            |
| NH <sub>3(г)</sub>                               | –46,19                               | –16,66                  | 192,50            |
| N <sub>2</sub> H <sub>4(ж)</sub>                 | 50,40                                | 149,20                  | 121,30            |
| NH <sub>2</sub> OH <sub>(т)</sub>                | –114,20                              | –                       | –                 |
| NH <sub>4</sub> OH <sub>(ж)</sub>                | –366,69                              | –263,80                 | 179,90            |

| Вещество                                                         | $\Delta H_{\text{обр}}^0$ , кДж/моль | $\Delta G^0$ , кДж/моль | $S^0$ , Дж/моль·К |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| $\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{т})}$                              | –314,40                              | –203,00                 | 94,60             |
| $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_{7(\text{т})}$               | –18078,00                            | –                       | –                 |
| $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_{4(\text{т})}$                         | –1179,30                             | –900,30                 | 220,30            |
| $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2_{(\text{т})}$               | –2353,50                             | –2039,80                | 216,31            |
| $\text{NOCl}_{(\text{г})}$                                       | 53,55                                | 66,99                   | 263,60            |
| $\text{N}_2\text{O}_{(\text{г})}$                                | 81,55                                | 103,60                  | 219,99            |
| $\text{NO}_{(\text{г})}$                                         | 90,37                                | 86,71                   | 210,62            |
| $\text{NO}_{2(\text{г})}$                                        | 33,50                                | 51,80                   | 240,45            |
| $\text{N}_2\text{O}_{4(\text{г})}$                               | 9,66                                 | 98,28                   | 304,30            |
| $\text{N}_2\text{O}_{5(\text{г})}$                               | 2,51                                 | 110,40                  | 342,30            |
| $\text{Na}_{(\text{т})}$                                         | 0                                    | 0                       | 51,00             |
| $\text{NaAlO}_{2(\text{т})}$                                     | –1133,03                             | –1069,20                | 70,29             |
| $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_{7(\text{т})}$                    | –3276,70                             | –3081,80                | 189,50            |
| $\text{Na}_2\text{O}_{(\text{т})}$                               | –415,90                              | –376,60                 | 72,80             |
| $\text{Na}_2\text{O}_{2(\text{т})}$                              | –513,21                              | –449,81                 | 94,81             |
| $\text{NaOH}_{(\text{т})}$                                       | –427,80                              | –381,10                 | 64,18             |
| $\text{NaCl}_{(\text{т})}$                                       | –410,90                              | –384,00                 | 72,33             |
| $\text{NaBr}_{(\text{т})}$                                       | –359,95                              | –350,20                 | 84,10             |
| $\text{NaI}_{(\text{т})}$                                        | –288,03                              | –286,20                 | 94,10             |
| $\text{NaF}_{(\text{т})}$                                        | –569,00                              | –541,00                 | 58,60             |
| $\text{NaNO}_{3(\text{ж})}$                                      | –446,20                              | –372,40                 | 207,00            |
| $\text{NaH}_{(\text{т})}$                                        | –56,40                               | –38,00                  | 188,00            |
| $\text{NaHCO}_{3(\text{т})}$                                     | –947,30                              | –849,65                 | 102,10            |
| $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{т})}$                             | –1384,60                             | –1266,80                | 149,40            |
| $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{т})}$                             | –1130,90                             | –1047,70                | 136,00            |
| $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}_{(\text{т})}$ | –4077,00                             | –3906,00                | 217,2             |
| $\text{NaH}_2\text{PO}_{4(\text{т})}$                            | –1544,90                             | –1394,24                | 127,57            |
| $\text{Na}_2\text{HPO}_{4(\text{т})}$                            | –1754,86                             | –1615,25                | 150,60            |
| $\text{Na}_2\text{S}_{(\text{т})}$                               | –374,47                              | –358,13                 | 79,50             |
| $\text{Na}_2\text{SO}_{3(\text{т})}$                             | –1089,43                             | –1001,21                | 146,02            |
| $\text{Na}_2\text{SiO}_{3(\text{т})}$                            | –1518,00                             | –1426,70                | 113,80            |
| $\text{Nb}_2\text{O}_{5(\text{т})}$                              | –1897,00                             | –1764,00                | 137,00            |
| $\text{Ni}_{(\text{т})}$                                         | 0                                    | 0                       | 29,86             |
| $\text{NiO}_{(\text{т})}$                                        | –239,70                              | –211,70                 | 38,00             |
| $\text{NiS}_{(\text{т})}$                                        | –73,22                               | –221,80                 | 52,93             |
| $\text{Ni}_2\text{S}_{3(\text{т})}$                              | –215,89                              | –                       | 133,89            |
| $\text{O}_{(\text{г})}$                                          | 247,50                               | 230,10                  | 161,00            |
| $\text{O}_{2(\text{г})}$                                         | 0                                    | 0                       | 205,04            |
| $\text{O}_{3(\text{г})}$                                         | 142,30                               | 163,40                  | 238,80            |
| $\text{OF}_{2(\text{г})}$                                        | 25,1                                 | 42,5                    | 247,0             |
| $\text{P}_{(\text{белый,т})}$                                    | 0                                    | 0                       | 41,11             |
| $\text{P}_{(\text{красный,т})}$                                  | –18,40                               | –13,80                  | 22,80             |
| $\text{P}_2\text{O}_{5(\text{т})}$                               | –1492,00                             | –1348,80                | 114,5             |
| $\text{P}_4\text{O}_{6(\text{т})}$                               | –1640,00                             | –                       | –                 |
| $\text{P}_4\text{O}_{10(\text{т})}$                              | –2980,00                             | –2700,00                | 229,00            |
| $\text{PCl}_{3(\text{г})}$                                       | –306,50                              | –286,27                 | 311,70            |
| $\text{PCl}_{5(\text{г})}$                                       | –369,45                              | –324,55                 | 362,90            |
| $\text{HPO}_{3(\text{ж})}$                                       | –982,40                              | –902,91                 | 150,60            |
| $\text{Pb}_{(\text{т})}$                                         | 0                                    | 0                       | 64,90             |
| $\text{PbO}_{(\text{т})}$                                        | –217,86                              | –188,49                 | 67,40             |
| $\text{PbO}_{2(\text{т})}$                                       | –276,86                              | –218,99                 | 76,44             |
| $\text{Pb}_3\text{O}_{4(\text{т})}$                              | –734,70                              | –617,59                 | 211,30            |
| $\text{PbCl}_{2(\text{т})}$                                      | –359,20                              | –313,97                 | 136,40            |
| $\text{PbBr}_{2(\text{т})}$                                      | –277,02                              | –260,42                 | 161,50            |
| $\text{PbCO}_{3(\text{т})}$                                      | –700,00                              | –626,40                 | 130,90            |

| Вещество                           | $\Delta H_{\text{обр}}^0$ , кДж/моль | $\Delta G^0$ , кДж/моль | $S^0$ , Дж/моль·К |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| PbSO <sub>4(т)</sub>               | –918,10                              | –811,20                 | 147,28            |
| PbS <sub>(т)</sub>                 | –94,28                               | –92,68                  | 91,20             |
| Pt <sub>(т)</sub>                  | 0                                    | 0                       | 41,90             |
| PtCl <sub>2(т)</sub>               | –                                    | –                       | 130,00            |
| PtCl <sub>4(т)</sub>               | –                                    | –                       | 209,00            |
| RaSO <sub>4(т)</sub>               | –1472,80                             | –1364,00                | 142,30            |
| Rb <sub>(т)</sub>                  | 0                                    | 0                       | 69,50             |
| Rb <sub>2</sub> O <sub>(т)</sub>   | –330,12                              | –290,79                 | 109,60            |
| RbOH <sub>(т)</sub>                | –413,80                              | –364,43                 | 70,70             |
| S <sub>(ромб,т)</sub>              | 0                                    | 0                       | 31,88             |
| S <sub>(монокл,т)</sub>            | 0,30                                 | 0,10                    | 32,55             |
| S <sub>2(г)</sub>                  | 124,94                               | 76,11                   | 227,65            |
| SO <sub>2(г)</sub>                 | –296,90                              | –300,37                 | 248,10            |
| SO <sub>3(г)</sub>                 | –395,20                              | –370,37                 | 256,23            |
| SO <sub>2</sub> Cl <sub>2(г)</sub> | –343,26                              | –309,86                 | 312,10            |
| SO <sub>2</sub> Cl <sub>2(ж)</sub> | –381,10                              | –315,80                 | 217,20            |
| H <sub>2</sub> S <sub>(г)</sub>    | –20,15                               | –33,02                  | 205,64            |
| H <sub>2</sub> S <sub>(ж)</sub>    | –39,33                               | –27,36                  | 122,20            |
| Sb <sub>(т)</sub>                  | 0                                    | 0                       | 44,00             |
| Sb <sub>2</sub> O <sub>3(т)</sub>  | –696,60                              | –                       | –                 |
| Sb <sub>2</sub> O <sub>5(т)</sub>  | –980,70                              | –383,90                 | 125,10            |
| Sb <sub>2</sub> S <sub>3(т)</sub>  | –149,37                              | –154,52                 | 165,70            |
| SbCl <sub>3(т)</sub>               | –382,16                              | –324,76                 | 186,20            |
| Se <sub>(т)</sub>                  | 0                                    | 0                       | 41,90             |
| H <sub>2</sub> Se <sub>(г)</sub>   | 33,00                                | 19,70                   | 218,80            |
| SeO <sub>2(г)</sub>                | –235,00                              | –224,3                  | 132,5             |
| SeO <sub>3(г)</sub>                | –260,80                              | –246,55                 | 147,28            |
| Si <sub>(т)</sub>                  | 0                                    | 0                       | 18,70             |
| SiO <sub>2(кварц,т)</sub>          | –859,40                              | –805,20                 | 41,84             |
| SiH <sub>4(г)</sub>                | –61,90                               | –39,30                  | 203,80            |
| SiCl <sub>4(г)</sub>               | –609,60                              | –569,90                 | 331,40            |
| SiCl <sub>4(ж)</sub>               | –687,80                              | –                       | 239,7             |
| SiF <sub>4(г)</sub>                | –1506,20                             | –1468,60                | 284,50            |
| Sn <sub>(белое,т)</sub>            | 0                                    | 0                       | 51,55             |
| SnO <sub>(т)</sub>                 | –286,40                              | –257,30                 | 56,50             |
| SnO <sub>2(т)</sub>                | –580,70                              | –418,40                 | 52,30             |
| SnCl <sub>2(т)</sub>               | –349,80                              | –308,40                 | 136,00            |
| SnCl <sub>4(т)</sub>               | –545,10                              | –474,10                 | 258,50            |
| SnS <sub>(т)</sub>                 | –77,85                               | –82,45                  | 98,73             |
| Sr <sub>(т)</sub>                  | 0                                    | 0                       | 25,40             |
| SrO <sub>(т)</sub>                 | –590,40                              | –559,80                 | 54,40             |
| SrCO <sub>3(т)</sub>               | –1221,30                             | –1137,60                | 97,10             |
| SrSO <sub>4(т)</sub>               | –1444,70                             | –1334,30                | 121,70            |
| <b>Ta</b> <sub>(т)</sub>           | 0                                    | 0                       | 41,40             |
| Ta <sub>2</sub> O <sub>5(т)</sub>  | –2045,10                             | –1922,50                | 143,10            |
| Te <sub>(т)</sub>                  | 0                                    | 0                       | 49,71             |
| TeO <sub>2(т)</sub>                | –325,05                              | –270,29                 | 71,08             |
| TeCl <sub>4(т)</sub>               | –323,00                              | –237,20                 | 209,20            |
| H <sub>2</sub> Te <sub>(г)</sub>   | 154,39                               | 138,48                  | 234,30            |
| Ti <sub>(т)</sub>                  | 0                                    | 0                       | 30,60             |
| TiO <sub>2(рутил,т)</sub>          | –941,00                              | –881,60                 | 50,20             |
| TiCl <sub>4(г)</sub>               | –758,90                              | –714,00                 | 353,10            |
| TiCl <sub>4(ж)</sub>               | –804,20                              | –737,40                 | 252,70            |
| <b>Tl</b> <sub>(г)</sub>           | 33,00                                | –13,00                  | 274,00            |
| Tl <sub>(т)</sub>                  | –124,00                              | –124,00                 | 123,00            |

| Вещество           | $\Delta H_{\text{обр}}^0$ , кДж/моль | $\Delta G^0$ , кДж/моль | $S^0$ , Дж/моль·К |
|--------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| $V_2O_5(\text{т})$ | –1573,00                             | –1428,00                | 130,96            |
| $U(\text{т})$      | 0                                    | 0                       | 50,34             |
| $UO_2(\text{т})$   | –1120,60                             | –1075,30                | 77,80             |
| $U_3O_8(\text{т})$ | –3577,30                             | –3368,10                | 276,10            |
| $UF_4(\text{т})$   | –1853,60                             | –1761,40                | 151,00            |
| $UF_6(\text{т})$   | –2163,20                             | –2033,40                | 227,80            |
| $UF_6(\text{г})$   | –2112,90                             | –2029,20                | 379,70            |
| $UCl_4(\text{т})$  | –1050,00                             | –962,00                 | 198,00            |
| $UCl_5(\text{т})$  | –1100,00                             | –993,00                 | 259,00            |
| $W(\text{т})$      | 0                                    | 0                       | 33,50             |
| $WO_3(\text{т})$   | –840,30                              | –763,40                 | 83,30             |
| $Zn(\text{т})$     | 0                                    | 0                       | 41,59             |
| $ZnO(\text{т})$    | –349,00                              | –318,20                 | 43,50             |
| $ZnS(\text{т})$    | –201,00                              | –239,80                 | 57,70             |
| $ZnCl_2(\text{т})$ | –415,90                              | –369,20                 | 108,40            |
| $ZnSO_4(\text{т})$ | –978,20                              | –870,20                 | 124,60            |
| $ZnCO_3(\text{т})$ | –812,60                              | –731,40                 | 82,40             |
| $Zr(\text{т})$     | 0                                    | 0                       | 38,40             |
| $ZrO_2(\text{т})$  | –1762,30                             | –1565,20                | 184,10            |
| $ZrCl_4(\text{т})$ | –962,32                              | –874,60                 | 186,20            |

Таблица 1.2

Стандартные энтальпии сгорания некоторых органических веществ

| Формула вещества, агрегатное состояние | $\Delta H_{\text{сгор}}^0$ , кДж/моль | Формула вещества, агрегатное состояние | $\Delta H_{\text{сгор}}^0$ , кДж/моль |
|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|
| $CH_4(\text{г})$                       | 890,40                                | $C_{10}H_8(\text{т})$                  | 5157,00                               |
| $C_2H_6(\text{г})$                     | 1560,00                               | $CH_3OH(\text{ж})$                     | 726,00                                |
| $C_2H_2(\text{г})$                     | 1300,00                               | $CH_3CHO(\text{г})$                    | 1193,00                               |
| $C_2H_4(\text{г})$                     | 1411,00                               | $C_2H_5OH(\text{ж})$                   | 1368,00                               |
| $C_3H_6(\text{г})$                     | 2058,00                               | $CH_3COOC_2H_5(\text{ж})$              | 2231,00                               |
| $C_3H_8(\text{г})$                     | 2218,00                               | $C_6H_5OH(\text{т})$                   | 3054,00                               |
| $C_4H_{10}(\text{г})$                  | 2877,00                               | $C_6H_5NH_2(\text{ж})$                 | 3393,00                               |
| $C_5H_{12}(\text{г})$                  | 3536,00                               | $(NH_2)_2CO(\text{г})$                 | 632,00                                |
| $C_6H_{12}(\text{ж})$                  | 3920,00                               | $C_3H_5(OH)_3(\text{т})$               | 964,00                                |
| $C_6H_{14}(\text{ж})$                  | 4163,00                               | $\alpha - D - C_6H_{12}O_6(\text{т})$  | 2802,00                               |
| $C_6H_6(\text{ж})$                     | 3268,00                               | $\beta - D - C_6H_{12}O_6(\text{т})$   | 2808,00                               |
| $C_8H_{12}(\text{ж})$                  | 5512,00                               | $C_{12}H_{22}O_{11}(\text{т})$         | 5645,00                               |
| $NH_3(\text{г})$                       | 316,5                                 | $H_2(\text{г})$                        | 241,8                                 |
| $N_2H_4(\text{ж})$                     | 584,6                                 | $B_2H_6(\text{г})$                     | 2017,9                                |
| $NH_2OH(\text{т})$                     | 247,7                                 | $SiH_4(\text{г})$                      | 1426,6                                |

## Константы диссоциации сильных и слабых электролитов при стандартных условиях

В таблицах приведены термодинамические константы ионизации кислот ( $K_a$ ) и оснований ( $K_b$ ) при температуре 25 °С, подчиняющиеся следующим уравнениям:

$$K_a = \frac{a(\text{H}^+) \cdot a(\text{A}^-)}{a(\text{HA})} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \cdot \frac{f(\text{H}^+) \cdot f(\text{A}^-)}{f(\text{HA})},$$

$$K_b = \frac{a(\text{B}^+) \cdot a(\text{OH}^-)}{a(\text{BOH})} = \frac{[\text{B}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{BOH}]} \cdot \frac{f(\text{B}^+) \cdot f(\text{OH}^-)}{f(\text{BOH})},$$

где  $a(\text{H}^+)$ ,  $a(\text{A}^-)$ ,  $a(\text{HA})$ , а также  $a(\text{B}^+)$ ,  $a(\text{OH}^-)$ ,  $a(\text{BOH})$  – активности ионов или молекул кислот и оснований (в моль/кг);  $[\text{H}^+]$ ,  $[\text{A}^-]$ ,  $[\text{HA}]$ , а также  $[\text{B}^+]$ ,  $[\text{OH}^-]$ ,  $[\text{BOH}]$  – молярные концентрации ионов или молекул (в моль/л);  $f(\text{H}^+)$ ,  $f(\text{A}^-)$ ,  $f(\text{HA})$ ,  $f(\text{B}^+)$ ,  $f(\text{OH}^-)$ ,  $f(\text{BOH})$  – коэффициенты активности ионов или молекул кислот и оснований.

Таблица 2.1

## Константы диссоциации неорганических кислот в водном растворе при температуре 298,15 К

| Кислота, название, формула | $K_1$                                          | $K_2$                | $K_3$                                                  |
|----------------------------|------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------|
| Азотистая                  | $6,9 \cdot 10^{-4}$                            | —                    | —                                                      |
| Алюминиевая                | $2,0 \cdot 10^{-11}$                           | —                    | —                                                      |
| Алюминиевая (мета)         | $4,1 \cdot 10^{-13}$                           | —                    | —                                                      |
| Борная (орто)              | $7,1 \cdot 10^{-10}$                           | $1,8 \cdot 10^{-4}$  | —                                                      |
| Борная (тетра)             | $1,8 \cdot 10^{-8}$                            | $1,5 \cdot 10^{-5}$  | —                                                      |
| Бромноватая                | $2,0 \cdot 10^{-1}$                            | —                    | —                                                      |
| Бромноватистая             | $2,2 \cdot 10^{-9}$                            | —                    | —                                                      |
| Ванадиевая (орто)          | —                                              | $1,1 \cdot 10^{-9}$  | $4,0 \cdot 10^{-15}$                                   |
| Вольфрамовая               | $6,3 \cdot 10^{-5}$                            | —                    | —                                                      |
| Вода                       | $1,8 \cdot 10^{-16}$                           | —                    | —                                                      |
| Германиевая                | $7,9 \cdot 10^{-10}$                           | $2,0 \cdot 10^{-13}$ | —                                                      |
| Дитионистая                | —                                              | $3,5 \cdot 10^{-3}$  | —                                                      |
| Дитионовая                 | $0,2 \cdot 10^{-1}$                            | $4,0 \cdot 10^{-4}$  | —                                                      |
| Двумолибденовая            | $9,5 \cdot 10^{-6}$                            | —                    | —                                                      |
| Двухромовая                | —                                              | $2,3 \cdot 10^{-2}$  | —                                                      |
| Железистосинеродистая      | —                                              | —                    | $K_3 = 2,3 \cdot 10^{-3}$<br>$K_4 = 4,5 \cdot 10^{-5}$ |
| Иодная                     | $\text{HIO}_4$ или $\text{H}_5\text{IO}_6$     | $2,8 \cdot 10^{-2}$  | $5,4 \cdot 10^{-9}$                                    |
| Иодноватая                 | $\text{HIO}_3$                                 | $0,6 \cdot 10^{-1}$  | —                                                      |
| Иодноватистая              | $\text{HIO}$                                   | $2,3 \cdot 10^{-11}$ | —                                                      |
| Кремневая (орто)           | $\text{H}_3(\text{HSiO}_4)$                    | $1,3 \cdot 10^{-10}$ | $1,6 \cdot 10^{-12}$                                   |
| Марганцовистая             | $\text{H}_2\text{MnO}_4$                       | $1,0 \cdot 10^{-1}$  | $7,1 \cdot 10^{-11}$                                   |
| Молибденовая               | $\text{H}_2\text{MoO}_4$                       | $2,9 \cdot 10^{-3}$  | $1,4 \cdot 10^{-4}$                                    |
| Мышьяковая                 | $\text{H}_3\text{AsO}_4$                       | $6,0 \cdot 10^{-3}$  | $1,1 \cdot 10^{-7}$                                    |
| Мышьяковистая              | $\text{H}_2(\text{HASO}_3)$                    | $5,9 \cdot 10^{-10}$ | $3,0 \cdot 10^{-14}$                                   |
| Оловянистая                | $\text{H}_2\text{SnO}_2$                       | $6,0 \cdot 10^{-18}$ | —                                                      |
| Оловянная                  | $\text{H}_2\text{SnO}_3$                       | $4,0 \cdot 10^{-10}$ | —                                                      |
| Пероксид водорода          | $\text{H}_2\text{O}_2$                         | $2,0 \cdot 10^{-12}$ | —                                                      |
| Роданистоводородная        | $\text{HSCN}$                                  | $1,4 \cdot 10^{-1}$  | —                                                      |
| Свинцовистая               | $\text{H}_2\text{PbO}_2$                       | $2,0 \cdot 10^{-16}$ | —                                                      |
| Свинцовая                  | $\text{H}_2\text{PbO}_3$                       | $3,5 \cdot 10^{-9}$  | —                                                      |
| Селенистая                 | $\text{H}_2\text{SeO}_3$                       | $2,4 \cdot 10^{-3}$  | $4,5 \cdot 10^{-9}$                                    |
| Селенистоводородная        | $\text{H}_2\text{Se}$                          | $1,3 \cdot 10^{-4}$  | $1,0 \cdot 10^{-11}$                                   |
| Селеновая                  | $\text{H}_2\text{SeO}_4$                       | —                    | $1,3 \cdot 10^{-2}$                                    |
| Серная                     | $\text{H}_2\text{SO}_4$                        | —                    | $1,2 \cdot 10^{-2}$                                    |
| Сернистая                  | $\text{H}_2\text{SO}_3$                        | $1,7 \cdot 10^{-2}$  | $6,3 \cdot 10^{-8}$                                    |
| Сероводородная             | $\text{H}_2\text{S}$                           | $1,0 \cdot 10^{-7}$  | $1,3 \cdot 10^{-13}$                                   |
| Сульфаминовая              | $\text{HSO}_3\text{NH}_2$                      | $1,0 \cdot 10^{-1}$  | —                                                      |
| Сурьмяная                  | $\text{H}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$             | $4,0 \cdot 10^{-5}$  | —                                                      |
| Теллуристая                | $\text{H}_2\text{TeO}_3$                       | $2,7 \cdot 10^{-3}$  | $1,8 \cdot 10^{-8}$                                    |
| Теллуристоводородная       | $\text{H}_2\text{Te}$                          | $2,3 \cdot 10^{-3}$  | $1,0 \cdot 10^{-11}$                                   |
| Теллуровая                 | $\text{H}_3(\text{H}_3\text{TeO}_6)$           | $2,0 \cdot 10^{-8}$  | $1,1 \cdot 10^{-11}$                                   |
| Тиосерная                  | $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$               | $2,5 \cdot 10^{-1}$  | $1,9 \cdot 10^{-2}$                                    |
| Тиоцианистая               | $\text{HCNS}$                                  | $1,0 \cdot 10$       | —                                                      |
| Угольная                   | $\text{H}_2\text{CO}_3$                        | $4,5 \cdot 10^{-7}$  | $4,8 \cdot 10^{-11}$                                   |
| Фосфористая                | $\text{H}_2(\text{HPO}_3)$                     | $1,6 \cdot 10^{-2}$  | $2,0 \cdot 10^{-7}$                                    |
| Фосфорная (пиро)           | $\text{H}_2(\text{H}_2)_2\text{P}_2\text{O}_7$ | $3,0 \cdot 10^{-2}$  | $2,3 \cdot 10^{-3}$                                    |
| Фосфорная (орто)           | $\text{H}_3\text{PO}_4$                        | $7,6 \cdot 10^{-3}$  | $6,2 \cdot 10^{-8}$                                    |
| Фосфорноватая              | $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6$               | $6,3 \cdot 10^{-3}$  | $1,6 \cdot 10^{-3}$                                    |
| Фосфорноватистая           | $\text{H}(\text{H}_2\text{PO}_2)$              | $5,9 \cdot 10^{-2}$  | —                                                      |
| Фтороводородная            | $\text{HF}$                                    | $6,8 \cdot 10^{-4}$  | —                                                      |
| Фторофосфорная             | $\text{H}_2[\text{PO}_3\text{F}]$              | $0,4 \cdot 10^{-1}$  | $1,6 \cdot 10^{-5}$                                    |

| Кислота, название, формула        | $K_1$                | $K_2$               | $K_3$ |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------|-------|
| Хлористая $\text{HClO}_2$         | $1,1 \cdot 10^{-2}$  | —                   | —     |
| Хлорноватистая $\text{HClO}$      | $5,0 \cdot 10^{-8}$  | —                   | —     |
| Хромовая $\text{H}_2\text{CrO}_4$ | $1,6 \cdot 10^{-1}$  | $3,2 \cdot 10^{-7}$ | —     |
| Цианистоводородная $\text{HCN}$   | $6,2 \cdot 10^{-10}$ | —                   | —     |
| Циановодородная $\text{HCNO}$     | $3,5 \cdot 10^{-4}$  | —                   | —     |

Таблица 2.2

Константы диссоциации органических кислот в водном растворе при температуре 298, 15 К

| Кислота, название, формула                                                                                     | $K_1$                | $K_2$                 | $K_3$                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------|
| $\alpha$ -Аминопропионовая ( $\alpha$ -Аланин)<br>$\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$               | $1,4 \cdot 10^{-10}$ | —                     | —                                                       |
| $\beta$ -Аминопропионовая ( $\beta$ -Аланин)<br>$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$                        | $5,9 \cdot 10^{-11}$ | —                     | —                                                       |
| Адипиновая $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$                                                             | $5,5 \cdot 10^{-5}$  | $5,0 \cdot 10^{-6}$   | —                                                       |
| Акриловая $\text{CH}_2 = \text{CHCOOH}$                                                                        | $5,5 \cdot 10^{-5}$  | —                     | —                                                       |
| Аминоуксусная (глицин) $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$                                                     | $1,7 \cdot 10^{-10}$ | —                     | —                                                       |
| Аскорбиновая<br>$\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$                    | $9,1 \cdot 10^{-5}$  | $4,57 \cdot 10^{-12}$ | —                                                       |
| Бензойная $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$                                                                    | $6,2 \cdot 10^{-5}$  | —                     | —                                                       |
| Валериановая (изо) $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COOH}$                                                   | $1,7 \cdot 10^{-5}$  | —                     | —                                                       |
| Валериановая (норм) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$                                                    | $1,4 \cdot 10^{-5}$  | $1,1 \cdot 10^{-9}$   | —                                                       |
| Винная $\text{HOOCCH}(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$                                               | $9,1 \cdot 10^{-4}$  | $4,3 \cdot 10^{-5}$   | —                                                       |
| Галловая $\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_3\text{COOH}$                                                        | $3,9 \cdot 10^{-5}$  | —                     | —                                                       |
| Гидрохинон $1,4 - \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$                                                           | $1,1 \cdot 10^{-10}$ | —                     | —                                                       |
| Гликолевая $\text{CH}_2(\text{OH})\text{COOH}$                                                                 | $1,3 \cdot 10^{-4}$  | —                     | —                                                       |
| Глицериновая $\text{C}_2\text{H}_3(\text{OH})_2\text{COOH}$                                                    | $3,0 \cdot 10^{-4}$  | —                     | —                                                       |
| Глутаминовая<br>$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$                                  | $4,7 \cdot 10^{-5}$  | $1,2 \cdot 10^{-10}$  | —                                                       |
| Глутаровая $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$                                                             | $4,6 \cdot 10^{-5}$  | $5,4 \cdot 10^{-6}$   | —                                                       |
| Глюконовая $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{COOH}$                                                    | $1,4 \cdot 10^{-4}$  | —                     | —                                                       |
| Дихлоруксусная $\text{CHCl}_2\text{COOH}$                                                                      | $5,0 \cdot 10^{-2}$  | —                     | —                                                       |
| Коричная (транс) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH} = \text{CHCOOH}$                                               | $3,7 \cdot 10^{-5}$  | —                     | —                                                       |
| Коричная (цис) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH} = \text{CHCOOH}$                                                 | $1,3 \cdot 10^{-4}$  | —                     | —                                                       |
| м-Крезол $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$                                                            | $9,8 \cdot 10^{-11}$ | —                     | —                                                       |
| о-Крезол $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$                                                            | $6,3 \cdot 10^{-11}$ | —                     | —                                                       |
| п-Крезол $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$                                                            | $6,8 \cdot 10^{-11}$ | —                     | —                                                       |
| Лимонная $(\text{CH}_2)_2\text{C}(\text{OH})(\text{COOH})_3$                                                   | $7,4 \cdot 10^{-4}$  | $1,7 \cdot 10^{-5}$   | $4,0 \cdot 10^{-7}$                                     |
| Малеиновая<br>$\text{HOOCCH} = \text{CHCOOH}$                                                                  | $1,2 \cdot 10^{-2}$  | $5,9 \cdot 10^{-7}$   | —                                                       |
| Малоновая $\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$                                                                         | $1,4 \cdot 10^{-3}$  | $2,0 \cdot 10^{-6}$   | —                                                       |
| Масляная (изо) $(\text{CH}_3)_2\text{CHCOOH}$                                                                  | $1,4 \cdot 10^{-5}$  | —                     | —                                                       |
| Масляная (норм) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$                                                 | $1,5 \cdot 10^{-5}$  | —                     | —                                                       |
| Миндальная $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$                                               | $3,9 \cdot 10^{-4}$  | —                     | —                                                       |
| Молочная $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$                                                          | $1,4 \cdot 10^{-4}$  | —                     | —                                                       |
| Муравьиная $\text{HCOOH}$                                                                                      | $1,8 \cdot 10^{-4}$  | —                     | —                                                       |
| м-Нитробензойная $\text{NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}$                                                  | $3,5 \cdot 10^{-4}$  | —                     | —                                                       |
| о-Нитробензойная $\text{NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}$                                                  | $6,8 \cdot 10^{-3}$  | —                     | —                                                       |
| п-Нитробензойная $\text{NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}$                                                  | $3,6 \cdot 10^{-4}$  | —                     | —                                                       |
| Пикриновая $\text{HOOC}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3$                                                            | $0,2 \cdot 10^{-1}$  | —                     | —                                                       |
| Пирокатехин $1,2 - \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$                                                          | $3,6 \cdot 10^{-10}$ | —                     | —                                                       |
| Пропионовая $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$                                                                | $1,4 \cdot 10^{-5}$  | —                     | —                                                       |
| Резорцин $1,3 - \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$                                                             | $3,6 \cdot 10^{-10}$ | —                     | —                                                       |
| Салициловая $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COOH}$                                                       | $1,1 \cdot 10^{-3}$  | —                     | —                                                       |
| Себациновая $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$                                                            | $4,0 \cdot 10^{-5}$  | $6,0 \cdot 10^{-6}$   | —                                                       |
| Сульфаниловая $\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$                                             | $6,3 \cdot 10^{-4}$  | —                     | —                                                       |
| Сульфосалициловая<br>$\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})(\text{COOH})\text{SO}_3\text{H}$                         | —                    | $1,38 \cdot 10^{-3}$  | $1,82 \cdot 10^{-12}$                                   |
| Трихлоруксусная $\text{CCl}_3\text{COOH}$                                                                      | $2,2 \cdot 10^{-1}$  | —                     | —                                                       |
| Уксусная $\text{CH}_3\text{COOH}$                                                                              | $1,7 \cdot 10^{-5}$  | —                     | —                                                       |
| Фенол (карболовая) $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$                                                             | $1,3 \cdot 10^{-10}$ | —                     | —                                                       |
| м-Фталевая $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$                                                               | $2,0 \cdot 10^{-4}$  | $2,5 \cdot 10^{-5}$   | —                                                       |
| о-Фталевая $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$                                                               | $1,1 \cdot 10^{-3}$  | $4,0 \cdot 10^{-6}$   | —                                                       |
| п-Фталевая $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$                                                               | $2,9 \cdot 10^{-4}$  | $3,5 \cdot 10^{-5}$   | —                                                       |
| Фумаровая $\text{HOOCCH} = \text{CHCOOH}$                                                                      | $9,3 \cdot 10^{-4}$  | $4,2 \cdot 10^{-5}$   | —                                                       |
| Хлоруксусная $\text{CH}_2\text{ClCOOH}$                                                                        | $1,6 \cdot 10^{-3}$  | —                     | —                                                       |
| Щавелевая $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$                                                                     | $5,6 \cdot 10^{-2}$  | $5,4 \cdot 10^{-5}$   | —                                                       |
| Этилендиаминтетрауксусная<br>$(\text{HOOCCH}_2)_2\text{NCH}_2 - \text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2$ | $1,0 \cdot 10^{-2}$  | $2,1 \cdot 10^{-3}$   | $K_3 = 5,4 \cdot 10^{-7}$<br>$K_4 = 1,1 \cdot 10^{-11}$ |
| Яблочная $\text{HOOCCH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{COOH}$                                                      | $3,5 \cdot 10^{-4}$  | $8,9 \cdot 10^{-6}$   | —                                                       |
| Янтарная $\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$                                                               | $6,2 \cdot 10^{-5}$  | $2,3 \cdot 10^{-6}$   | —                                                       |

Таблица 2.3

Константы диссоциации неорганических оснований в водном растворе при температуре 298,15 К

| Основание, название, формула                                        | $K_1$                | $K_2$                | $K_3$                |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Алюминия гидроксид $\text{Al}(\text{OH})_3$                         | $8,3 \cdot 10^{-9}$  | $2,1 \cdot 10^{-9}$  | $1,0 \cdot 10^{-9}$  |
| Аммония гидроксид $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$            | $1,8 \cdot 10^{-5}$  | —                    | —                    |
| Бария гидроксид $\text{Ba}(\text{OH})_2$                            | 0,23                 | —                    | —                    |
| Бериллия гидроксид $\text{Be}(\text{OH})_2$                         | $4,9 \cdot 10^{-7}$  | $5,0 \cdot 10^{-11}$ | —                    |
| Ванадия (III) гидроксид $\text{V}(\text{OH})_3$                     | $8,3 \cdot 10^{-12}$ | Не заметна           | Не заметна           |
| Висмута (III) гидроксид $\text{Bi}(\text{OH})_3$                    | $3,1 \cdot 10^{-12}$ | $1,0 \cdot 10^{-12}$ | $3,7 \cdot 10^{-13}$ |
| Вода $\text{H}_2\text{O}$                                           | $1,8 \cdot 10^{-16}$ | —                    | —                    |
| Галлия (III) гидроксид $\text{Ga}(\text{OH})_3$                     | $1,6 \cdot 10^{-11}$ | —                    | —                    |
| Гидразина гидроксид $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | $9,5 \cdot 10^{-7}$  | —                    | —                    |
| Гидроксиламин $\text{NH}_2\text{OH}$                                | $9,6 \cdot 10^{-9}$  | —                    | —                    |
| Железа (II) гидроксид $\text{Fe}(\text{OH})_2$                      | $1,2 \cdot 10^{-2}$  | $5,5 \cdot 10^{-8}$  | —                    |
| Железа (III) гидроксид $\text{Fe}(\text{OH})_3$                     | $4,8 \cdot 10^{-11}$ | $1,8 \cdot 10^{-11}$ | $1,5 \cdot 10^{-12}$ |
| Кадмия (II) гидроксид $\text{Cd}(\text{OH})_2$                      | $5,0 \cdot 10^{-3}$  | $1,3 \cdot 10^{-4}$  | —                    |
| Калия гидроксид $\text{KOH}$                                        | 2,9                  | —                    | —                    |
| Кальция гидроксид $\text{Ca}(\text{OH})_2$                          | 0,30                 | $4,3 \cdot 10^{-2}$  | —                    |
| Кобальта (II) гидроксид $\text{Co}(\text{OH})_2$                    | $3,2 \cdot 10^{-4}$  | $4,0 \cdot 10^{-5}$  | —                    |
| Лантана (III) гидроксид $\text{La}(\text{OH})_3$                    | $5,2 \cdot 10^{-4}$  | не заметна           | не заметна           |
| Лития гидроксид $\text{LiOH}$                                       | 0,44                 | —                    | —                    |
| Магния гидроксид $\text{Mg}(\text{OH})_2$                           | $2,5 \cdot 10^{-3}$  | $3,1 \cdot 10^{-4}$  | —                    |
| Марганца (II) гидроксид $\text{Mn}(\text{OH})_2$                    | $9,1 \cdot 10^{-2}$  | $5,0 \cdot 10^{-4}$  | —                    |
| Меди (II) гидроксид $\text{Cu}(\text{OH})_2$                        | $4,5 \cdot 10^{-5}$  | $3,4 \cdot 10^{-7}$  | —                    |
| Натрия гидроксид $\text{NaOH}$                                      | 1,5                  | —                    | —                    |
| Никеля (II) гидроксид $\text{Ni}(\text{OH})_2$                      | $1,3 \cdot 10^{-4}$  | $2,5 \cdot 10^{-5}$  | —                    |
| Ртуты (II) гидроксид $\text{Hg}(\text{OH})_2$                       | —                    | $5,0 \cdot 10^{-11}$ | —                    |
| Свинца (II) гидроксид $\text{Pb}(\text{OH})_2$                      | $9,6 \cdot 10^{-4}$  | $3,0 \cdot 10^{-8}$  | —                    |
| Серебра гидроксид $\text{AgOH}$                                     | $5,0 \cdot 10^{-3}$  | —                    | —                    |
| Скандия (III) гидроксид $\text{Sc}(\text{OH})_3$                    | $7,6 \cdot 10^{-10}$ | —                    | —                    |
| Стронция гидроксид $\text{Sr}(\text{OH})_2$                         | 0,15                 | —                    | —                    |
| Хрома (III) гидроксид $\text{Cr}(\text{OH})_3$                      | $3,3 \cdot 10^{-9}$  | $1,3 \cdot 10^{-9}$  | $1,0 \cdot 10^{-10}$ |
| Цинка гидроксид $\text{Zn}(\text{OH})_2$                            | $1,3 \cdot 10^{-5}$  | $4,9 \cdot 10^{-7}$  | —                    |

Таблица 2.4

Константы диссоциации органических оснований в водном растворе при температуре 298,15 К

| Основание, название, формула                                | $K_1$                 | $K_2$ | $K_3$ |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------|-------|-------|
| Анилин $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$                    | $3,8 \cdot 10^{-10}$  | —     | —     |
| Гексаметилентетрамин $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$            | $1,35 \cdot 10^{-9}$  | —     | —     |
| Диметиламин $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$                      | $7,24 \cdot 10^{-4}$  | —     | —     |
| Диметиланилин $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}(\text{CH}_3)_2$ | $2,4 \cdot 10^{-10}$  | —     | —     |
| Диэтиламин $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}$              | $9,55 \cdot 10^{-4}$  | —     | —     |
| Метиламин $\text{CH}_3\text{NH}_2$                          | $4,2 \cdot 10^{-4}$   | —     | —     |
| Мочевина $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$                         | $1,5 \cdot 10^{-14}$  | —     | —     |
| 8-Оксихинолин $\text{C}_9\text{H}_7\text{ON}$               | $1,3 \cdot 10^{-10}$  | —     | —     |
| Пиридин $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$                      | $1,51 \cdot 10^{-9}$  | —     | —     |
| Хинолин $\text{C}_9\text{H}_7\text{N}$                      | $8,71 \cdot 10^{-10}$ | —     | —     |
| Этиламин $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$                  | $4,68 \cdot 10^{-4}$  | —     | —     |
| Этиланилин $\text{C}_6\text{H}_5\text{NHC}_2\text{H}_5$     | $4,0 \cdot 10^{-10}$  | —     | —     |

Таблица 3

Интервалы pH перехода окраски различных индикаторов в водных растворах

| Индикатор           | Интервал pH перехода окраски | Изменение окраски      |
|---------------------|------------------------------|------------------------|
| Лакмус              | 5,8–8,0                      | Красная ↔ Синяя        |
| Метиловый красный   | 4,4–6,2                      | Красная ↔ Желтая       |
| Метиловый оранжевый | 3,0–4,4                      | Красная ↔ Желтая       |
| Метиловый желтый    | 2,9–4,0                      | Красная ↔ Желтая       |
| Фенолфталеин        | 8,2–10,0                     | Бесцветная ↔ Малиновая |
| Тимолфталеин        | 9,3–10,5                     | Бесцветная ↔ Синяя     |
| Ализариновый желтый | 10,1–12,0                    | Желтая ↔ Оранжевая     |
| Крезоловый красный  | 7,2–8,8                      | Желтая ↔ Пурпурная     |
| Бромтимоловый синий | 6,0–7,6                      | Желтая ↔ Синяя         |

Приложение 4

Плотности водных растворов некоторых электролитов при температуре 293,15 К

Таблица 4.1

Плотности водных растворов неорганических и органических кислот (г/см<sup>3</sup>) при различных массовых концентрациях (%)

| Кислота                                      | Массовая доля в водном растворе, ω % |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |              |       |       |       |
|----------------------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
|                                              | 2                                    | 5     | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 35    | 40    | 50    | 60    | 70           | 80    | 90    | 100   |
| HNO <sub>3</sub>                             | 1,009                                | 1,025 | 1,054 | 1,084 | 1,115 | 1,146 | 1,180 | 1,214 | 1,246 | 1,310 | 1,367 | 1,413        | 1,452 | 1,483 | 1,513 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>               | 1,012                                | 1,031 | 1,066 | 1,102 | 1,139 | 1,178 | 1,219 | 1,260 | 1,303 | 1,395 | 1,498 | 1,611        | 1,727 | 1,835 | 1,875 |
| HCl                                          | 1,008                                | 1,023 | 1,047 | 1,073 | 1,098 | 1,124 | 1,149 | 1,174 | 1,198 | –     | –     | –            | –     | –     | –     |
| HBr                                          | 1,012                                | 1,040 | 1,072 | 1,107 | 1,158 | 1,197 | 1,258 | 1,315 | 1,377 | 1,517 | –     | –            | –     | –     | –     |
| HF                                           | 1,005                                | 1,020 | 1,036 | 1,052 | 1,070 | 1,086 | 1,102 | 1,114 | 1,128 | 1,155 | –     | –            | –     | –     | –     |
| HCN                                          | 0,996                                | 0,990 | 0,982 | 0,972 | 0,958 | 0,943 | 0,925 | 0,908 | 0,892 | 0,860 | –     | –            | –     | –     | –     |
| H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>               | 1,009                                | 1,025 | 1,053 | 1,083 | 1,113 | 1,146 | 1,181 | 1,216 | 1,254 | 1,335 | 1,426 | 1,526        | 1,650 | 1,775 | 1,870 |
| HClO <sub>4</sub>                            | 1,010                                | 1,028 | 1,060 | 1,093 | 1,127 | 1,166 | 1,206 | 1,250 | 1,299 | 1,408 | 1,539 | 1,606 (65 %) | –     | –     | –     |
| HIO <sub>3</sub>                             | 1,016                                | 1,050 | 1,090 | 1,132 | 1,197 | 1,247 | 1,322 | 1,390 | 1,464 | –     | –     | –            | –     | –     | –     |
| HCOOH                                        | 1,002                                | 1,012 | 1,025 | 1,037 | 1,049 | 1,061 | 1,073 | 1,085 | 1,096 | 1,121 | 1,142 | 1,166        | 1,186 | 1,204 | 1,221 |
| CH <sub>3</sub> COOH                         | 1,000                                | 1,005 | 1,012 | 1,020 | 1,026 | 1,033 | 1,038 | 1,044 | 1,049 | 1,058 | 1,064 | 1,068        | 1,070 | 1,066 | 1,050 |
| H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 1,007                                | 1,019 | 1,035 | 1,046 | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –            | –     | –     | –     |

Таблица 4.2

Плотности водных растворов щелочей, аммиака и некоторых органических спиртов (г/см<sup>3</sup>) при различных массовых концентрациях (%)

| Вещество                                        | Массовая доля в водном растворе, ω % |       |       |       |       |       |       |                |       |       |       |       |       |             |       |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
|                                                 | 2                                    | 5     | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 35             | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90          | 100   |
| NaOH                                            | 1,021                                | 1,054 | 1,109 | 1,164 | 1,219 | 1,274 | 1,328 | 1,380          | 1,430 | 1,525 | –     | –     | –     | –           | –     |
| KOH                                             | 1,011                                | 1,041 | 1,082 | 1,128 | 1,176 | 1,229 | 1,287 | 1,348          | –     | 1,538 | –     | –     | –     | –           | –     |
| Ca(OH) <sub>2</sub>                             | 1,010                                | 1,032 | 1,061 | 1,093 | 1,126 | 1,162 | 1,198 | 1,220 (32,5 %) | 1,411 | –     | –     | –     | –     | –           | –     |
| NH <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O              | 0,990                                | 0,977 | 0,958 | 0,940 | 0,923 | 0,907 | 0,892 | –              | –     | –     | –     | –     | –     | –           | –     |
| CH <sub>3</sub> OH                              | 0,995                                | 0,991 | 0,982 | 0,976 | 0,968 | 0,962 | 0,954 | 0,946          | 0,937 | 0,919 | 0,898 | 0,875 | 0,850 | 0,824       | 0,796 |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH                | 0,996                                | 0,990 | 0,983 | 0,977 | 0,971 | 0,964 | 0,957 | 0,948          | 0,941 | 0,917 | 0,894 | 0,870 | 0,846 | 0,810       | 0,794 |
| C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (OH) <sub>3</sub> | 1,003                                | 1,010 | 1,022 | 1,035 | 1,047 | 1,060 | 1,073 | 1,086          | 1,105 | 1,126 | 1,153 | 1,181 | 1,208 | 1,235       | 1,261 |
| C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (OH) <sub>6</sub> | 1,002                                | 1,018 | 1,038 | 1,059 | 1,081 | 1,104 | 1,127 | 1,151          | 1,176 | 1,230 | 1,287 | 1,347 | 1,412 | 1,445 (85%) | –     |

Таблица 4.3

Плотности водных растворов некоторых солей (г/см<sup>3</sup>) при заданных значениях температуры и массовой концентрации (%)

| Соль                                            | t °C | Массовая доля в водном растворе, ω % |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------|------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                 |      | 1                                    | 2     | 4     | 6     | 8     | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    |
| AgNO <sub>3</sub>                               | 20°  | 1,007                                | 1,015 | 1,032 | 1,050 | 1,069 | 1,088 | 1,194 | 1,320 | 1,474 | 1,668 |
| AlCl <sub>3</sub>                               | 18°  | 1,007                                | 1,016 | 1,034 | 1,152 | 1,071 | 1,090 | –     | –     | –     | –     |
| Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> | 19°  | 1,009                                | 1,019 | 1,040 | 1,061 | 1,083 | 1,105 | 1,226 | –     | –     | –     |
| BaCl <sub>2</sub>                               | 20°  | –                                    | 1,015 | 1,034 | 1,052 | 1,072 | 1,092 | 1,203 | –     | –     | –     |
| CaCl <sub>2</sub>                               | 20°  | 1,007                                | 1,014 | 1,031 | 1,048 | 1,065 | 1,083 | 1,177 | 1,281 | 1,395 | –     |
| CdSO <sub>4</sub>                               | 18°  | –                                    | 1,018 | 1,038 | 1,059 | 1,080 | 1,102 | 1,224 | 1,371 | 1,547 | –     |
| CoCl <sub>2</sub>                               | 18°  | 1,008                                | 1,017 | 1,036 | 1,055 | 1,075 | 1,095 | 1,205 | –     | –     | –     |
| CuSO <sub>4</sub>                               | 20°  | 1,009                                | 1,019 | 1,040 | 1,062 | 1,084 | 1,107 | –     | –     | –     | –     |
| FeCl <sub>3</sub>                               | 20°  | 1,007                                | 1,015 | 1,032 | 1,049 | 1,067 | 1,085 | 1,182 | 1,291 | 1,417 | 1,551 |
| FeSO <sub>4</sub>                               | 18°  | 1,008                                | 1,018 | 1,037 | 1,057 | 1,078 | 1,100 | 1,213 | –     | –     | –     |
| Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> | 18°  | 1,007                                | 1,016 | 1,033 | 1,050 | 1,067 | 1,154 | 1,181 | 1,307 | 1,449 | 1,613 |
| KBr                                             | 20°  | 1,005                                | 1,012 | 1,027 | 1,042 | 1,058 | 1,074 | 1,160 | 1,259 | 1,374 | –     |
| K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                  | 20°  | 1,007                                | 1,016 | 1,034 | 1,052 | 1,071 | 1,090 | 1,189 | 1,301 | 1,414 | 1,540 |
| KCl                                             | 20°  | 1,004                                | 1,011 | 1,023 | 1,036 | 1,050 | 1,063 | 1,132 | –     | –     | –     |
| KI                                              | 20°  | 1,005                                | 1,013 | 1,028 | 1,043 | 1,059 | 1,076 | 1,166 | 1,281 | 1,395 | 1,545 |
| KMnO <sub>4</sub>                               | 15°  | 1,006                                | 1,013 | 1,027 | 1,041 | –     | –     | –     | –     | –     | –     |
| K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 20°  | 1,006                                | 1,014 | 1,031 | 1,047 | 1,064 | 1,081 | –     | –     | –     | –     |
| K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>                 | 18°  | 1,006                                | 1,014 | 1,031 | 1,047 | 1,064 | 1,082 | 1,174 | 1,278 | 1,396 | –     |
| MgSO <sub>4</sub>                               | 20°  | –                                    | 1,018 | 1,039 | 1,060 | 1,081 | 1,103 | 1,219 | –     | –     | –     |
| NH <sub>4</sub> Cl                              | 20°  | 1,001                                | 1,004 | 1,010 | 1,016 | 1,022 | 1,028 | 1,056 | –     | –     | –     |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                 | 20°  | 1,008                                | 1,019 | 1,039 | 1,060 | 1,081 | 1,102 | –     | –     | –     | –     |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                 | 20°  | 1,007                                | 1,016 | 1,034 | 1,053 | 1,072 | 1,091 | –     | –     | –     | –     |
| NaCl                                            | 20°  | 1,005                                | 1,012 | 1,026 | 1,041 | 1,055 | 1,070 | 1,147 | –     | –     | –     |
| Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>               | 18°  | 1,007                                | 1,016 | 1,034 | 1,052 | 1,072 | 1,091 | 1,203 | 1,328 | –     | –     |
| ZnCl <sub>2</sub>                               | 20°  | –                                    | 1,016 | 1,035 | 1,053 | 1,071 | 1,089 | 1,186 | 1,292 | 1,417 | 1,568 |
| ZnSO <sub>4</sub>                               | 20°  | –                                    | 1,019 | 1,040 | 1,062 | 1,084 | 1,107 | 1,232 | 1,378 | –     | –     |

## Общие свойства растворов

Таблица 5.1

Криоскопические ( $K_K$ ) и эбуллиоскопические ( $K_E$ ) постоянные некоторых растворителей, а также их температуры кипения и кристаллизации

| Растворитель         |                 | $K_K$ , град. | $K_E$ , град. | $T_{\text{кип}}$ , К | $T_{\text{крист}}$ , К |
|----------------------|-----------------|---------------|---------------|----------------------|------------------------|
| Анилин               | $C_6H_5NH_2$    | 5,87          | 3,22          | 457,4                | 267,0                  |
| Ацетон               | $(CH_3)_2CO$    | 2,40          | 1,48          | 329,0                | 178,4                  |
| Бензол               | $C_6H_6$        | 5,12          | 2,53          | 353,2                | 278,4                  |
| Вода                 | $H_2O$          | 1,85          | 0,52          | 373,0                | 273,0                  |
| Этанол               | $C_2H_5OH$      | 1,99          | 1,22          | 351,4                | 221,7                  |
| Камфора              | $C_{10}H_{16}O$ | 40,00         | 6,09          | 477,0                | 447,4                  |
| Нитробензол          | $C_6H_5NO_2$    | 6,90          | 5,27          | 483,9                | 278,7                  |
| Фенол                | $C_6H_5OH$      | 7,30          | 3,6           | 455,1                | 314,0                  |
| Хлороформ            | $CHCl_3$        | 4,90          | 3,88          | 334,2                | 209,8                  |
| Тетрахлорид углерода | $CCl_4$         | 29,8          | 5,30          | 349,7                | 250,0                  |
| Пиридин              | $C_5H_5N$       | 4,97          | 2,69          | 388,4                | 231,0                  |
| Сероуглерод          | $CS_2$          | –             | 2,29          | 319,3                | 164,4                  |

Таблица 5.2

Давление насыщенных паров воды  $H_2O$  при различных температурах

| $T, K$ | $P$ , Па | $T, K$ | $P$ , Па | $T, K$ | $P$ , Па | $T, K$ | $P$ , Па |
|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|
| 273    | 610,5    | 285    | 1403,0   | 297    | 2984,0   | 333    | 19916,0  |
| 274    | 656,7    | 286    | 1497,0   | 298    | 3164,2   | 338    | 25003,0  |
| 275    | 705,8    | 287    | 1599,0   | 299    | 3361,0   | 343    | 31157,0  |
| 276    | 757,9    | 288    | 1704,9   | 300    | 3565,0   | 348    | 38544,0  |
| 277    | 813,4    | 289    | 1817,0   | 301    | 3780,0   | 353    | 47343,0  |
| 278    | 872,3    | 290    | 1937,0   | 302    | 4005,0   | 358    | 57809,0  |
| 279    | 935,0    | 291    | 2064,0   | 303    | 4245,2   | 363    | 70101,0  |
| 280    | 1001,6   | 292    | 2197,0   | 308    | 5622,9   | 368    | 84513,0  |
| 281    | 1072,6   | 293    | 2337,8   | 313    | 7375,9   | 373    | 101325,0 |
| 282    | 1147,8   | 294    | 2486,0   | 318    | 9583,2   | –      | –        |
| 283    | 1227,8   | 295    | 2644,0   | 323    | 12334,0  | –      | –        |
| 284    | 1311,9   | 296    | 2809,0   | 328    | 15737,0  | –      | –        |

Таблица 5.3

Произведение (коэффициент) растворимости ограниченно растворимых в воде соединений при температуре 298,15 К

| Формула вещества                                | $K_S$ или $[[P]$      | Формула вещества                  | $K_S$ или $[[P]$      | Формула вещества                                | $K_S$ или $[[P]$      | Формула вещества                                | $K_S$ или $[[P]$      |
|-------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| Al(OH) <sub>3</sub>                             | $1,90 \cdot 10^{-33}$ | CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>   | $3,80 \cdot 10^{-9}$  | Mg(OH) <sub>2</sub>                             | $5,50 \cdot 10^{-12}$ | PbCO <sub>3</sub>                               | $7,24 \cdot 10^{-14}$ |
| AgBr                                            | $6,30 \cdot 10^{-13}$ | CaCrO <sub>4</sub>                | $2,30 \cdot 10^{-2}$  | MgS                                             | $2,00 \cdot 10^{-15}$ | PbCrO <sub>4</sub>                              | $1,77 \cdot 10^{-14}$ |
| AgCl                                            | $1,56 \cdot 10^{-10}$ | Cd(OH) <sub>2</sub>               | $2,2 \cdot 10^{-14}$  | MnCO <sub>3</sub>                               | $5,05 \cdot 10^{-10}$ | Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | $1,50 \cdot 10^{-32}$ |
| AgI                                             | $1,50 \cdot 10^{-16}$ | CdS                               | $1,20 \cdot 10^{-28}$ | Mn(OH) <sub>2</sub>                             | $4,00 \cdot 10^{-14}$ | PbS                                             | $6,80 \cdot 10^{-29}$ |
| Ag <sub>2</sub> S                               | $1,60 \cdot 10^{-49}$ | CdCO <sub>3</sub>                 | $2,50 \cdot 10^{-14}$ | MnS                                             | $1,40 \cdot 10^{-15}$ | PbSO <sub>4</sub>                               | $1,60 \cdot 10^{-8}$  |
| Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                 | $6,15 \cdot 10^{-12}$ | CuC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>   | $2,91 \cdot 10^{-10}$ | NiCO <sub>3</sub>                               | $1,35 \cdot 10^{-7}$  | Pb(OH) <sub>2</sub>                             | $6,80 \cdot 10^{-13}$ |
| Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                 | $7,70 \cdot 10^{-5}$  | CuCO <sub>3</sub>                 | $2,36 \cdot 10^{-10}$ | NiC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                 | $4,20 \cdot 10^{-10}$ | Ti(OH) <sub>2</sub>                             | $1,00 \cdot 10^{-35}$ |
| Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>                | $1,10 \cdot 10^{-12}$ | CuS                               | $4,00 \cdot 10^{-38}$ | Ni(OH) <sub>2</sub>                             | $1,60 \cdot 10^{-14}$ | TlBr                                            | $3,9 \cdot 10^{-6}$   |
| Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                 | $1,30 \cdot 10^{-20}$ | Cu <sub>2</sub> S                 | $2,60 \cdot 10^{-49}$ | NiS                                             | $1,10 \cdot 10^{-27}$ | TlCl                                            | $1,7 \cdot 10^{-4}$   |
| AgOH                                            | $1,93 \cdot 10^{-8}$  | CuBr                              | $5,30 \cdot 10^{-9}$  | Sb(OH) <sub>3</sub>                             | $4,00 \cdot 10^{-42}$ | TlI                                             | $5,75 \cdot 10^{-8}$  |
| As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>                  | $4,10 \cdot 10^{-29}$ | Cu <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>   | $1,80 \cdot 10^{-7}$  | Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>                  | $2,90 \cdot 10^{-59}$ | TlSCN                                           | $1,7 \cdot 10^{-4}$   |
| AgBrO <sub>3</sub>                              | $5,50 \cdot 10^{-5}$  | CuI                               | $1,10 \cdot 10^{-12}$ | Sn(OH) <sub>2</sub>                             | $5,00 \cdot 10^{-26}$ | Hg <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>                 | $1,30 \cdot 10^{-21}$ |
| AgIO <sub>3</sub>                               | $3,00 \cdot 10^{-8}$  | Cu(OH) <sub>2</sub>               | $2,20 \cdot 10^{-20}$ | SnS                                             | $1,00 \cdot 10^{-27}$ | Hg <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                 | $9,00 \cdot 10^{-17}$ |
| BaCrO <sub>4</sub>                              | $2,30 \cdot 10^{-10}$ | Cr(OH) <sub>3</sub>               | $6,70 \cdot 10^{-31}$ | SrCO <sub>3</sub>                               | $9,42 \cdot 10^{-10}$ | Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>                 | $1,10 \cdot 10^{-18}$ |
| Ba(OH) <sub>2</sub>                             | $5,00 \cdot 10^{-3}$  | CoS                               | $3,10 \cdot 10^{-23}$ | SrC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                 | $5,60 \cdot 10^{-9}$  | Hg <sub>2</sub> I <sub>2</sub>                  | $1,20 \cdot 10^{-28}$ |
| BaCO <sub>3</sub>                               | $7,00 \cdot 10^{-9}$  | Co(OH) <sub>2</sub>               | $2,00 \cdot 10^{-17}$ | SrCrO <sub>4</sub>                              | $3,60 \cdot 10^{-5}$  | HgS                                             | $4,00 \cdot 10^{-53}$ |
| BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                 | $1,70 \cdot 10^{-7}$  | Co(OH) <sub>3</sub>               | $2,00 \cdot 10^{-16}$ | Sr(OH) <sub>2</sub>                             | $6,70 \cdot 10^{-2}$  | Hg <sub>2</sub> S                               | $1,00 \cdot 10^{-45}$ |
| BaSO <sub>4</sub>                               | $1,08 \cdot 10^{-10}$ | FeCO <sub>3</sub>                 | $2,50 \cdot 10^{-11}$ | SrSO <sub>4</sub>                               | $3,20 \cdot 10^{-7}$  | Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                 | $2,80 \cdot 10^{-7}$  |
| Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | $6,00 \cdot 10^{-39}$ | Fe(OH) <sub>3</sub>               | $3,80 \cdot 10^{-38}$ | Sr <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | $1,00 \cdot 10^{-31}$ | ZnC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                 | $7,50 \cdot 10^{-9}$  |
| CaCO <sub>3</sub>                               | $4,80 \cdot 10^{-9}$  | Fe(OH) <sub>2</sub>               | $1,64 \cdot 10^{-15}$ | PbBr <sub>2</sub>                               | $6,30 \cdot 10^{-6}$  | ZnCO <sub>3</sub>                               | $1,00 \cdot 10^{-12}$ |
| CaSO <sub>4</sub>                               | $6,10 \cdot 10^{-5}$  | FeS                               | $3,70 \cdot 10^{-20}$ | PbI <sub>2</sub>                                | $9,80 \cdot 10^{-9}$  | Zn(OH) <sub>2</sub>                             | $1,30 \cdot 10^{-17}$ |
| Ca(OH) <sub>2</sub>                             | $6,00 \cdot 10^{-6}$  | FePO <sub>4</sub>                 | $1,30 \cdot 10^{-22}$ | Pb(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>               | $2,60 \cdot 10^{-13}$ | ZnS                                             | $7,40 \cdot 10^{-23}$ |
| CaF <sub>2</sub>                                | $4,00 \cdot 10^{-11}$ | MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>   | $8,57 \cdot 10^{-5}$  | PbCl <sub>2</sub>                               | $1,72 \cdot 10^{-5}$  | ZnCO <sub>3</sub>                               | $1,50 \cdot 10^{-11}$ |
| Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | $1,20 \cdot 10^{-14}$ | MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> | $2,50 \cdot 10^{-13}$ | PbC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                 | $3,40 \cdot 10^{-11}$ | Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | $9,1 \cdot 10^{-33}$  |

*Примечание: над осадками Hg<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> и Fe<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> ионы практически отсутствуют, что означает полную нерастворимость этих фосфатов в воде.*

Таблица 5.4

Значения коэффициентов активности некоторых ионов в водных растворах при  $T = 298,15$  К и различных значениях ионной силы раствора

| Ионы                                                                                                                     | Коэффициенты активности $f$ при ионной силе $I$ раствора (моль/кг) |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                                                                          | 0,001                                                              | 0,002 | 0,005 | 0,01  | 0,02  | 0,05  | 0,1   | 0,2   |
| <i>Ионы неорганических соединений</i>                                                                                    |                                                                    |       |       |       |       |       |       |       |
| $H^+$                                                                                                                    | 0,975                                                              | 0,967 | 0,950 | 0,993 | 0,914 | 0,880 | 0,860 | 0,830 |
| $Li^+, K^+, Na^+$                                                                                                        | 0,975                                                              | 0,965 | 0,948 | 0,929 | 0,903 | 0,865 | 0,825 | 0,780 |
| $Rb^+, Cs^+, NH_4^+, Ag^+, Tl^+$                                                                                         | 0,975                                                              | 0,964 | 0,945 | 0,924 | 0,898 | 0,850 | 0,800 | 0,750 |
| $Cl^-, Br^-, I^-, CN^-, NO_2^-, NO_3^-$                                                                                  | 0,975                                                              | 0,964 | 0,945 | 0,925 | 0,899 | 0,850 | 0,805 | 0,755 |
| $OH^-, F^-, CNS^-, CNO^-, HS^-, ClO_2^-, BrO_3^-, IO_4^-, ClO_3^-, MnO_4^-$                                              | 0,975                                                              | 0,964 | 0,946 | 0,926 | 0,900 | 0,855 | 0,810 | 0,760 |
| $CdCl^+, ClO_2^-, IO_3^-, HCO_3^-, H_2PO_4^-, HSO_3^-, H_2AsO_3^-$                                                       | 0,975                                                              | 0,964 | 0,947 | 0,928 | 0,902 | 0,860 | 0,820 | 0,775 |
| $Hg_2^{2+}, SO_4^{2-}, S_2O_3^{2-}, S_4O_6^{2-}, S_2O_8^{2-}, SeO_4^{2-}, CrO_4^{2-}, HPO_4^{2-}$                        | 0,903                                                              | 0,867 | 0,803 | 0,740 | 0,660 | 0,545 | 0,445 | 0,355 |
| $Pb^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}, Ra^{2+}, Cd^{2+}, Hg^{2+}, S^{2-}, CO_3^{2-}, SO_3^{2-}, MoO_4^{2-}, S_2O_4^{2-}, WO_4^{2-}$ | 0,903                                                              | 0,868 | 0,805 | 0,743 | 0,668 | 0,553 | 0,460 | 0,375 |
| $Ca^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Sn^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}, Be^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}$                               | 0,905                                                              | 0,871 | 0,811 | 0,752 | 0,683 | 0,585 | 0,510 | 0,425 |
| $PO_4^{3-}, [Fe(CN)_6]^{3-}, [Co(NO_2)_6]^{3-}$                                                                          | 0,796                                                              | 0,725 | 0,612 | 0,505 | 0,395 | 0,250 | 0,160 | 0,095 |
| $Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, Sc^{3+}, La^{3+}, Y^{3+}, In^{3+}, Ce^{3+}, Pr^{3+}, Nb^{3+}, Sm^{3+}$                       | 0,802                                                              | 0,738 | 0,632 | 0,540 | 0,445 | 0,325 | 0,245 | 0,180 |
| $[Fe(CN)_6]^{4-}, Th^{4+}, Zr^{4+}, Ce^{4+}, Sn^{4+}, Ge^{4+}$                                                           | 0,673                                                              | 0,579 | 0,440 | 0,335 | 0,230 | 0,135 | 0,128 | 0,053 |
| <i>Ионы органических соединений</i>                                                                                      |                                                                    |       |       |       |       |       |       |       |
| $HCOO^-, CH_3COO^-, (CH_3)_3NH^+, NH_2CH_2COO^-, C_2H_5NH_3^+, CH_3NH_3^+, (CH_3)_4N^+, (CH_3)_2NH_2^+, (COO)_2^{2-}$    | 0,975                                                              | 0,964 | 0,947 | 0,927 | 0,901 | 0,855 | 0,815 | 0,770 |
| $(CH_2COO)_2^{2-}, H_2C(COO)_2^{2-}, HC_6H_5O_7^{2-}$                                                                    | 0,904                                                              | 0,868 | 0,806 | 0,744 | 0,670 | 0,555 | 0,470 | 0,385 |
| $C_6H_5O_7^{3-}$                                                                                                         | 0,796                                                              | 0,728 | 0,616 | 0,510 | 0,405 | 0,270 | 0,180 | 0,115 |

## Окислительно-восстановительные и электрохимические процессы

Таблица 6.1

Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы некоторых простых и сложных веществ, и их ионов (по отношению к стандартному водородному электроду) при температуре 298,15 К

| Окисленная форма       | Кол-во электронов, участвующих в процессе | Восстановленная форма | Потенциал окислителя $\varphi_0, В$ |
|------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| <b>Актиний</b>         |                                           |                       |                                     |
| $Ac^{3+}$              | 3                                         | Ac                    | -2,60                               |
| <b>Азот</b>            |                                           |                       |                                     |
| $NH_3 + 3H^+$          | 2                                         | $NH_4^+ + N_2$        | +1,96                               |
| $2NO + 2H^+$           | 2                                         | $N_2O + H_2O$         | +1,68                               |
| $2NO_2 + 8H^+$         | 6                                         | $N_2 + 4H_2O$         | +1,52                               |
| $2HNO_2 + 6H^+$        | 6                                         | $N_2 + 4H_2O$         | +1,45                               |
| $HNO_2 + H^+$          | 1                                         | $NO + H_2O$           | +0,99                               |
| $NO_2^- + 7H^+$        | 6                                         | $NH_3 + 2H_2O$        | +0,73                               |
| $2NO_2^- + 3H_2O$      | 4                                         | $N_2O + 6OH^-$        | +0,27                               |
| $NO_2^- + H_2O$        | 1                                         | $NO + 2OH^-$          | -0,30                               |
| $2NO_3^- + 12H^+$      | 10                                        | $N_2 + 6H_2O$         | +1,21                               |
| $NO_3^- + 4H^+$        | 2                                         | $NO + 2H_2O$          | +0,94                               |
| $NO_3^- + 3H^+$        | 2                                         | $HNO_2 + H_2O$        | +0,87                               |
| $NO_3^- + 10H^+$       | 8                                         | $NH_4^+ + 3H_2O$      | +0,83                               |
| $2NO_3^- + 4H^+$       | 2                                         | $N_2O_4 + 2H_2O$      | +0,78                               |
| $NO_3^- + 2H^+$        | 1                                         | $NO_2 + H_2O$         | +0,73                               |
| $N_2 + 8H^+$           | 6                                         | $2NH_4^+$             | +0,28                               |
| $NO_3^- + H_2O$        | 2                                         | $NO_2^- + 2OH^-$      | +0,01                               |
| $NO_3^- + 6H_2O$       | 8                                         | $NH_3 + 9OH^-$        | -0,12                               |
| $2NO_3^- + 2H_2O$      | 2                                         | $N_2O_4 + 4OH^-$      | -0,73                               |
| $N_2O + 5H_2O$         | 4                                         | $2NH_2OH + 4OH^-$     | -0,85                               |
| $N_2 + 4H_2O$          | 4                                         | $N_2H_4 + 4OH^-$      | -1,05                               |
| <b>Алюминий</b>        |                                           |                       |                                     |
| $AlO_2^- + 2H_2O$      | 3                                         | $Al + 4OH^-$          | -2,35                               |
| $Al(OH)_3$             | 3                                         | $Al + 3OH^-$          | -2,31                               |
| $[AlF_6]^{3-}$         | 3                                         | $Al + 6F^-$           | -2,07                               |
| $Al^{3+}$              | 3                                         | Al                    | -1,66                               |
| <b>Барий</b>           |                                           |                       |                                     |
| $Ba^{2+}$              | 2                                         | Ba                    | -2,91                               |
| $Ba(OH)_2$             | 2                                         | $Ba + 2OH^-$          | -2,81                               |
| <b>Бериллий</b>        |                                           |                       |                                     |
| $BeO + H_2O$           | 2                                         | $Be + 2OH^-$          | -2,61                               |
| $Be_2O_3^{2-} + 3H_2O$ | 4                                         | $2Be + 6OH^-$         | -2,28                               |
| $Be^{2+}$              | 2                                         | Be                    | -1,85                               |
| <b>Бор</b>             |                                           |                       |                                     |
| $H_3BO_3 + 3H^+$       | 3                                         | $B + 3H_2O$           | -0,73                               |
| <b>Бром</b>            |                                           |                       |                                     |
| $BrO_4^- + 2H^+$       | 2                                         | $BrO_3^- + H_2O$      | +1,76                               |
| $2BrO_3^- + 12H^+$     | 10                                        | $Br_2 + 6H_2O$        | +1,60                               |
| $2HBrO + 2H^+$         | 2                                         | $Br_2 + 2H_2O$        | +1,59                               |
| $BrO_3^- + 6H^+$       | 6                                         | $Br^- + 3H_2O$        | +1,49                               |
| $HBrO + H^+$           | 2                                         | $Br^- + H_2O$         | +1,35                               |
| $Br_2$                 | 2                                         | $2Br^-$               | +1,07                               |
| $BrO^- + H_2O$         | 2                                         | $Br^- + 2OH^-$        | +0,76                               |
| $BrO_3^- + 3H_2O$      | 6                                         | $Br^- + 6OH^-$        | +0,60                               |
| $BrO_3^- + 2H_2O$      | 4                                         | $BrO^- + 4OH^-$       | +0,54                               |
| $BrO_3^- + 6H_2O$      | 10                                        | $Br_2 + 12OH^-$       | +0,50                               |
| $2BrO^- + 2H_2O$       | 2                                         | $Br_2 + 4OH^-$        | +0,43                               |
| <b>Ванадий</b>         |                                           |                       |                                     |
| $V^{2+}$               | 2                                         | V                     | -1,19                               |
| $VO_2^+ + 2H^+$        | 1                                         | $VO^{2+} + H_2O$      | -1,00                               |
| $V^{3+}$               | 1                                         | $V^{2+}$              | -0,26                               |
| $V(OH)_4^+ + 4H^+$     | 5                                         | $V + 4H_2O$           | -0,25                               |
| $VO_2^+ + 2H^+$        | 1                                         | $V^{3+} + H_2O$       | +0,32                               |
| $VO_2^+ + 4H^+$        | 3                                         | $V^{2+} + 2H_2O$      | +0,37                               |
| $VO_2^+ + 4H^+$        | 2                                         | $V^{3+} + 2H_2O$      | +0,66                               |
| $V(OH)_4^+ + 2H^+$     | 2                                         | $VO^{2+} + 3H_2O$     | +1,00                               |
| $VO_4^{2-} + 6H^+$     | 1                                         | $VO^{2+} + 3H_2O$     | +1,03                               |
| $HVO_3 + 3H^+$         | 1                                         | $VO^{2+} + 2H_2O$     | +1,10                               |
| <b>Висмут</b>          |                                           |                       |                                     |
| $Bi_2O_3 + 3H_2O$      | 6                                         | $2Bi + 6OH^-$         | -0,46                               |

|                                                |    |                                         |       |
|------------------------------------------------|----|-----------------------------------------|-------|
| $\text{Bi}^{3+}$                               | 3  | $\text{Bi}$                             | +0,22 |
| $\text{BiO}^+ + 2\text{H}^+$                   | 3  | $\text{Bi} + \text{H}_2\text{O}$        | +0,32 |
| $\text{Bi}_2\text{O}_4 + 4\text{H}^+$          | 2  | $2\text{BiO}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$   | +1,59 |
| $\text{BiO}_3^- + 6\text{H}^+$                 | 2  | $\text{Bi}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$  | +1,80 |
| <b>Водород</b>                                 |    |                                         |       |
| $2\text{H}_2\text{O}$                          | 2  | $\text{H}_2 + 2\text{OH}^-$             | -0,83 |
| $2\text{H}^+ (10^{-7} \text{ M.})$             | 2  | $\text{H}_2$                            | -0,41 |
| $2\text{H}^+$                                  | 2  | $\text{H}_2$                            | 0,00  |
| $\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$           | 2  | $3\text{OH}^-$                          | +0,88 |
| $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+$           | 2  | $2\text{H}_2\text{O}$                   | +1,78 |
| $\text{H}_2$                                   | 2  | $2\text{H}^-$                           | +2,33 |
| <b>Вольфрам</b>                                |    |                                         |       |
| $\text{WO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$       | 6  | $\text{W} + 8\text{OH}^-$               | -1,10 |
| $\text{WO}_3 + 6\text{H}^+$                    | 6  | $\text{W} + 3\text{H}_2\text{O}$        | -0,09 |
| $\text{WO}_2 + 4\text{H}^+$                    | 4  | $\text{W} + 2\text{H}_2\text{O}$        | -0,05 |
| <b>Галлий</b>                                  |    |                                         |       |
| $\text{H}_2\text{GaO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  | 3  | $\text{Ga} + 4\text{OH}^-$              | -1,22 |
| $\text{Ga}^{3+}$                               | 1  | $\text{Ga}^{2+}$                        | -0,65 |
| $\text{Ga}^{3+}$                               | 3  | $\text{Ga}$                             | -0,53 |
| $\text{Ga}_2\text{O} + 2\text{H}^+$            | 2  | $2\text{Ga} + \text{H}_2\text{O}$       | -0,40 |
| <b>Гафний</b>                                  |    |                                         |       |
| $\text{HfO}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}$ | 4  | $\text{Hf} + 4\text{OH}^-$              | -2,50 |
| $\text{Hf}^{4+}$                               | 4  | $\text{Hf}$                             | -1,70 |
| $\text{HfO}^{2+} + 2\text{H}^+$                | 4  | $\text{Hf} + \text{H}_2\text{O}$        | -1,68 |
| <b>Германий</b>                                |    |                                         |       |
| $\text{H}_2\text{GeO}_3 + 4\text{H}^+$         | 4  | $\text{Ge} + 3\text{H}_2\text{O}$       | -0,13 |
| $\text{Ge}^{2+}$                               | 2  | $\text{Ge}$                             | +0,01 |
| <b>Железо</b>                                  |    |                                         |       |
| $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$                | 2  | $\text{Fe} + 6\text{CN}^-$              | -1,50 |
| $\text{Fe}(\text{OH})_{2(\text{т})}$           | 2  | $\text{Fe} + 2\text{OH}^-$              | -0,88 |
| $\text{Fe}(\text{OH})_{3(\text{т})}$           | 1  | $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$  | -0,56 |
| $\text{Fe}^{2+}$                               | 2  | $\text{Fe}$                             | -0,44 |
| $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+$          | 8  | $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O}$      | -0,09 |
| $\text{Fe}^{3+}$                               | 3  | $\text{Fe}$                             | -0,04 |
| $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$                | 1  | $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$         | +0,36 |
| $\text{FeO}_4^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$      | 3  | $\text{Fe}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$ | +0,72 |
| $\text{Fe}^{3+}$                               | 1  | $\text{Fe}^{2+}$                        | +0,77 |
| $\text{FeO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$      | 3  | $\text{FeO}_2 + 4\text{OH}^-$           | +0,90 |
| $\text{FeO}_4^{2-} + 8\text{H}^+$              | 3  | $\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$  | +1,90 |
| <b>Золото</b>                                  |    |                                         |       |
| $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$                   | 1  | $\text{Au} + 2\text{CN}^-$              | -0,60 |
| $[\text{AuCl}_4]^-$                            | 3  | $\text{Au} + 4\text{Cl}^-$              | +1,00 |
| $\text{Au}^{3+}$                               | 2  | $\text{Au}^+$                           | +1,29 |
| $\text{Au}^{3+}$                               | 3  | $\text{Au}$                             | +1,50 |
| $\text{Au}^+$                                  | 1  | $\text{Au}$                             | +1,69 |
| <b>Индий</b>                                   |    |                                         |       |
| $\text{In}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  | 6  | $2\text{In} + 6\text{OH}^-$             | -1,18 |
| $\text{In}(\text{OH})_3$                       | 3  | $\text{In} + 3\text{OH}^-$              | -1,00 |
| $\text{In}^{3+}$                               | 1  | $\text{In}^{2+}$                        | -0,40 |
| $\text{In}^{3+}$                               | 3  | $\text{In}$                             | -0,34 |
| <b>Иридий</b>                                  |    |                                         |       |
| $\text{Ir}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  | 6  | $2\text{Ir} + 6\text{OH}^-$             | +0,10 |
| $\text{IrO}_2 + 4\text{H}^+$                   | 1  | $\text{Ir}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$  | +0,77 |
| $[\text{IrBr}_6]^{3-}$                         | 1  | $[\text{IrBr}_6]^{4-}$                  | +0,99 |
| <b>Иттрий</b>                                  |    |                                         |       |
| $\text{Y}(\text{OH})_3$                        | 3  | $\text{Y} + 3\text{OH}^-$               | -2,81 |
| $\text{Y}^{3+}$                                | 3  | $\text{Y}$                              | -2,37 |
| <b>Йод</b>                                     |    |                                         |       |
| $\text{IO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O}$          | 4  | $\text{IO}^- + 4\text{OH}^-$            | +0,14 |
| $\text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$          | 6  | $\text{I}^- + 6\text{OH}^-$             | +0,26 |
| $2\text{IO}^- + \text{H}_2\text{O}$            | 2  | $\text{I}_2 + 4\text{OH}^-$             | +0,47 |
| $\text{IO}^- + \text{H}_2\text{O}$             | 2  | $\text{I}^- + 2\text{OH}^-$             | +0,51 |
| $[\text{I}_3]^-$                               | 2  | $3\text{I}^-$                           | +0,53 |
| $\text{I}_2$                                   | 2  | $2\text{I}^-$                           | +0,54 |
| $\text{HIO} + \text{H}^+$                      | 2  | $\text{I}^- + \text{H}_2\text{O}$       | +1,02 |
| $\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+$                  | 6  | $\text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$      | +1,09 |
| $2\text{IO}_3^- + 12\text{H}^+$                | 10 | $\text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$      | +1,23 |
| $\text{IO}_4^- + 8\text{H}^+$                  | 8  | $\text{I}^- + 4\text{H}_2\text{O}$      | +1,45 |
| $\text{H}_5\text{IO}_6 + \text{H}^+$           | 2  | $\text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$   | +1,60 |
| <b>Калий</b>                                   |    |                                         |       |
| $\text{K}^+$                                   | 1  | $\text{K}$                              | -2,92 |

| Кальций                                           |   |                                                           |       |
|---------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------|-------|
| $\text{Ca(OH)}_2$                                 | 2 | $\text{Ca} + 2\text{OH}^-$                                | -3,02 |
| $\text{Ca}^{2+}$                                  | 2 | $\text{Ca}$                                               | -2,87 |
| Кадмий                                            |   |                                                           |       |
| $[\text{Cd(CN)}_4]^{2-}$                          | 2 | $\text{Cd} + 4\text{CN}^-$                                | -1,09 |
| $\text{Cd(OH)}_2$                                 | 2 | $\text{Cd} + 2\text{OH}^-$                                | -0,81 |
| $[\text{Cd(NH}_3)_4]^{2+}$                        | 2 | $\text{Cd} + 4\text{NH}_3$                                | -0,44 |
| $\text{Cd}^{2+}$                                  | 2 | $\text{Cd}$                                               | -0,40 |
| Кислород                                          |   |                                                           |       |
| $\text{O}_2$                                      | 1 | $\text{O}_2^-$                                            | -0,26 |
| $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$                 | 2 | $\text{HO}_2^- + \text{OH}^-$                             | -0,08 |
| $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$                | 4 | $4\text{OH}^-$                                            | +0,40 |
| $\text{O}_2 + 2\text{H}^+$                        | 2 | $\text{H}_2\text{O}_2$                                    | +0,68 |
| $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ (10^{-7} \text{ M})$    | 4 | $2\text{H}_2\text{O}$                                     | +0,82 |
| $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ (> 10^{-4} \text{ M.})$ | 4 | $2\text{H}_2\text{O}$                                     | +1,23 |
| $\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$                 | 2 | $\text{O}_2 + 2\text{OH}^-$                               | +1,27 |
| $\text{O}_3 + 2\text{H}^+$                        | 2 | $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$                         | +1,50 |
| Кобальт                                           |   |                                                           |       |
| $[\text{Co(CN)}_6]^{3-}$                          | 1 | $[\text{Co(CN)}_6]^{4-}$                                  | -0,83 |
| $\text{Co(OH)}_2$                                 | 2 | $\text{Co} + 2\text{OH}^-$                                | -0,73 |
| $[\text{Co(NH}_3)_6]^{2+}$                        | 2 | $\text{Co} + 6\text{NH}_3$                                | -0,42 |
| $\text{Co}^{2+}$                                  | 2 | $\text{Co}$                                               | -0,28 |
| $[\text{Co(NH}_3)_6]^{3+}$                        | 1 | $[\text{Co(NH}_3)_6]^{2+}$                                | +0,10 |
| $\text{Co(OH)}_3$                                 | 1 | $\text{Co(OH)}_2 + \text{OH}^-$                           | +0,20 |
| $\text{Co}^{3+}$                                  | 3 | $\text{Co}$                                               | +0,33 |
| $\text{Co}^{3+}$                                  | 1 | $\text{Co}^{2+}$                                          | +1,82 |
| Кремний                                           |   |                                                           |       |
| $[\text{SiF}_6]^{2-}$                             | 4 | $\text{Si} + 6\text{F}^-$                                 | -1,17 |
| $\text{H}_2\text{SiO}_3 + 4\text{H}^+$            | 4 | $\text{Si} + 3\text{H}_2\text{O}$                         | -0,79 |
| $\text{Si} + 4\text{H}_2\text{O}$                 | 4 | $\text{SiH}_4 + 4\text{OH}^-$                             | -0,73 |
| $\text{SiO}_2 + 4\text{H}^+$                      | 4 | $\text{Si} + 2\text{H}_2\text{O}$                         | -0,60 |
| $\text{Si} + 4\text{H}^+$                         | 4 | $\text{SiH}_4$                                            | +0,10 |
| $\text{SiO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$         | 4 | $\text{Si} + 6\text{OH}^-$                                | +1,73 |
| Лантан                                            |   |                                                           |       |
| $\text{La(OH)}_3$                                 | 3 | $\text{La} + 3\text{OH}^-$                                | -2,90 |
| $\text{La}^{3+}$                                  | 3 | $\text{La}$                                               | -2,52 |
| Литий                                             |   |                                                           |       |
| $\text{Li}^+$                                     | 1 | $\text{Li}$                                               | -3,05 |
| Магний                                            |   |                                                           |       |
| $\text{Mg(OH)}_2$                                 | 2 | $\text{Mg} + 2\text{OH}^-$                                | -2,69 |
| $\text{Mg}^{2+}$                                  | 2 | $\text{Mg}$                                               | -2,37 |
| Марганец                                          |   |                                                           |       |
| $\text{Mn(OH)}_2$                                 | 2 | $\text{Mn} + 2\text{OH}^-$                                | -1,55 |
| $\text{Mn}^{2+}$                                  | 2 | $\text{Mn}$                                               | -1,18 |
| $\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$              | 2 | $\text{Mn(OH)}_2 + 2\text{OH}^-$                          | -0,05 |
| $\text{Mn(OH)}_3$                                 | 1 | $\text{Mn(OH)}_2 + \text{OH}^-$                           | +0,10 |
| $\text{MnO}_4^-$                                  | 1 | $\text{MnO}_4^{2-}$                                       | +0,54 |
| $\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$         | 2 | $\text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$                             | +0,60 |
| $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+$                      | 2 | $\text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$                    | +1,23 |
| $\text{Mn}^{3+}$                                  | 1 | $\text{Mn}^{2+}$                                          | +1,51 |
| $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+$                    | 5 | $\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$                    | +1,54 |
| $\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+$                    | 3 | $\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$                      | +1,70 |
| Медь                                              |   |                                                           |       |
| $\text{Cu}_2\text{S}$                             | 2 | $2\text{Cu} + \text{S}^{2-}$                              | -0,95 |
| $\text{CuS}$                                      | 2 | $\text{Cu} + \text{S}^{2-}$                               | -0,76 |
| $2\text{CuS}$                                     | 2 | $\text{Cu}_2\text{S} + \text{S}^{2-}$                     | -0,58 |
| $[\text{Cu(CN)}_2]^-$                             | 1 | $\text{Cu} + 2\text{CN}^-$                                | -0,43 |
| $\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$        | 2 | $2\text{Cu} + 2\text{OH}^-$                               | -0,36 |
| $\text{CuS} + 2\text{H}^+$                        | 2 | $\text{Cu} + \text{H}_2\text{S}$                          | -0,26 |
| $\text{Cu(OH)}_2$                                 | 2 | $\text{Cu} + 2\text{OH}^-$                                | -0,22 |
| $[\text{Cu(NH}_3)_2]^+$                           | 1 | $\text{Cu} + 2\text{NH}_3$                                | -0,11 |
| $2\text{Cu(OH)}_2$                                | 2 | $\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$ | -0,09 |
| $[\text{Cu(NH}_3)_4]^{2+}$                        | 2 | $\text{Cu} + 4\text{NH}_3$                                | -0,05 |
| $\text{Cu}^{2+}$                                  | 1 | $\text{Cu}^+$                                             | +0,16 |
| $\text{Cu}^{2+}$                                  | 2 | $\text{Cu}$                                               | +0,34 |
| $\text{Cu}^+$                                     | 1 | $\text{Cu}$                                               | +0,52 |
| Молибден                                          |   |                                                           |       |
| $\text{MoO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$         | 6 | $\text{Mo} + 8\text{OH}^-$                                | -1,05 |
| $\text{Mo}^{3+}$                                  | 3 | $\text{Mo}$                                               | -0,20 |
| $\text{H}_2\text{MoO}_4 + 6\text{H}^+$            | 6 | $\text{Mo} + 4\text{H}_2\text{O}$                         | +0,00 |
| $[\text{Mo(CN)}_6]^{3-}$                          | 1 | $[\text{Mo(CN)}_6]^{4-}$                                  | +0,73 |
| Мышьяк                                            |   |                                                           |       |

|                                               |   |                                                     |        |
|-----------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------|--------|
| $\text{AsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$          | 3 | $\text{As} + 4\text{OH}^-$                          | -0,68  |
| $\text{HAsO}_2 + 3\text{H}^+$                 | 3 | $\text{As} + 2\text{H}_2\text{O}$                   | +0,25  |
| $2\text{AsH}_3$                               | 3 | $2\text{As} + 3\text{H}_2$                          | +0,54  |
| $\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^+$        | 2 | $\text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$               | +0,56  |
| $\text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O}$     | 2 | $\text{AsO}_2 + 4\text{OH}^-$                       | +0,71  |
| <b>Натрий</b>                                 |   |                                                     |        |
| $\text{Na}^+$                                 | 1 | $\text{Na}$                                         | -2,71  |
| <b>Никель</b>                                 |   |                                                     |        |
| $\text{NiS}$                                  | 2 | $\text{Ni} + \text{S}^{2-}$                         | -1,07  |
| $\text{Ni(OH)}_2$                             | 2 | $\text{Ni} + 2\text{OH}^-$                          | -0,72  |
| $[\text{Ni(NH}_3)_6]^{2+}$                    | 2 | $\text{Ni} + 6\text{NH}_3$                          | -0,48  |
| $\text{Ni}^{2+}$                              | 2 | $\text{Ni}$                                         | -0,25  |
| $\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O}$           | 2 | $\text{Ni(OH)}_2 + \text{OH}^-$                     | +0,49  |
| $\text{NiO}_2 + 4\text{H}^+$                  | 2 | $\text{Ni}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$              | +1,68  |
| <b>Олово</b>                                  |   |                                                     |        |
| $[\text{Sn(OH)}_6]^{2-}$                      | 2 | $\text{HSnO}_2 + 3\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$ | -0,96  |
| $[\text{Sn(OH)}_5]^-$                         | 2 | $\text{HSnO}_2 + 2\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$ | -0,93  |
| $\text{HSnO}_2 + \text{H}_2\text{O}$          | 2 | $\text{Sn} + 3\text{OH}^-$                          | -0,91  |
| $\text{SnS}$                                  | 2 | $\text{Sn} + \text{S}^{2-}$                         | -0,87  |
| $[\text{SnF}_6]^{2-}$                         | 4 | $\text{Sn} + 6\text{F}^-$                           | -0,25  |
| $\text{Sn}^{2+}$                              | 2 | $\text{Sn}$                                         | -0,14  |
| $\text{Sn}^{4+}$                              | 4 | $\text{Sn}$                                         | +0,01  |
| $\text{Sn}^{4+}$                              | 2 | $\text{Sn}^{2+}$                                    | +0,15  |
| <b>Осмий</b>                                  |   |                                                     |        |
| $\text{HOsO}_5 + 4\text{H}_2\text{O}$         | 8 | $\text{Os} + 9\text{OH}^-$                          | +0,02  |
| $[\text{OsCl}_6]^{3-}$                        | 3 | $\text{Os} + 6\text{Cl}^-$                          | +0,60  |
| $\text{OsO}_4 + 8\text{H}^+$                  | 8 | $\text{Os} + 4\text{H}_2\text{O}$                   | +0,85  |
| <b>Палладий</b>                               |   |                                                     |        |
| $\text{Pd(OH)}_2$                             | 2 | $\text{Pd} + 2\text{OH}^-$                          | +0,07  |
| $\text{Pd(OH)}_4$                             | 2 | $\text{Pd(OH)}_2 + 2\text{OH}^-$                    | +0,80  |
| $\text{Pd}^{2+}$                              | 2 | $\text{Pd}$                                         | +0,99  |
| $\text{PdO}_3 + \text{H}_2\text{O}$           | 2 | $\text{PdO}_2 + 2\text{OH}^-$                       | +1,20  |
| $[\text{PdCl}_6]^{2-}$                        | 2 | $[\text{PdCl}_4]^{2-} + 2\text{Cl}^-$               | +1,29  |
| <b>Платина</b>                                |   |                                                     |        |
| $\text{PtS}$                                  | 2 | $\text{Pt} + \text{S}^{2-}$                         | -0,83  |
| $\text{PtS} + 2\text{H}^+$                    | 2 | $\text{Pt} + \text{H}_2\text{S}$                    | -0,30  |
| $[\text{Pt(OH)}_6]^{2-}$                      | 2 | $\text{Pt(OH)}_2 + 4\text{OH}^-$                    | +0,16  |
| $\text{Pt(OH)}_2$                             | 2 | $\text{Pt} + 2\text{OH}^-$                          | +0,58  |
| $[\text{PtBr}_4]^{2-}$                        | 2 | $\text{Pt} + 4\text{Br}^-$                          | +0,63  |
| $[\text{PtCl}_6]^{2-}$                        | 2 | $[\text{PtCl}_4]^{2-} + 2\text{Cl}^-$               | +0,68  |
| $[\text{PtCl}_4]^{2-}$                        | 2 | $\text{Pt} + 4\text{Cl}^-$                          | +0,73  |
| $\text{Pt(OH)}_2 + 2\text{H}^+$               | 2 | $\text{Pt} + 2\text{H}_2\text{O}$                   | +0,98  |
| $\text{Pt}^{2+}$                              | 2 | $\text{Pt}$                                         | +1,20  |
| <b>Полоний</b>                                |   |                                                     |        |
| $\text{Po} + 2\text{H}^+$                     | 2 | $\text{H}_2\text{Po}$                               | -1,00  |
| $\text{PoO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$     | 4 | $\text{Po} + 6\text{OH}^-$                          | -0,49  |
| $\text{Po}^{2+}$                              | 2 | $\text{Po}$                                         | +0,65  |
| $\text{PoO}_2 + 4\text{H}^+$                  | 2 | $\text{Po}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$              | +0,80  |
| $\text{PoO}_3 + 2\text{H}^+$                  | 2 | $\text{PoO}_2 + \text{H}_2\text{O}$                 | +1,52  |
| <b>Радий</b>                                  |   |                                                     |        |
| $\text{Ra}^{2+}$                              | 2 | $\text{Ra}$                                         | -2,92  |
| <b>Рений</b>                                  |   |                                                     |        |
| $\text{ReO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O}$        | 3 | $\text{ReO}_2 + 4\text{OH}^-$                       | -0,59  |
| $\text{ReO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O}$        | 7 | $\text{Re} + 8\text{OH}^-$                          | -0,58  |
| $\text{ReO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$          | 4 | $\text{Re} + 4\text{OH}^-$                          | -0,57  |
| $\text{ReO}_2 + 4\text{H}^+$                  | 4 | $\text{Re} + 2\text{H}_2\text{O}$                   | +0,25  |
| $\text{ReO}_4^- + 8\text{H}^+$                | 7 | $\text{Re} + 4\text{H}_2\text{O}$                   | +0,36  |
| $\text{ReO}_4^- + 4\text{H}^+$                | 3 | $\text{ReO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$                | +0,51  |
| <b>Родий</b>                                  |   |                                                     |        |
| $\text{Rh}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ | 6 | $2\text{Rh} + 6\text{OH}^-$                         | +0,04  |
| $[\text{RhCl}_6]^{3-}$                        | 3 | $\text{Rh} + 6\text{Cl}^-$                          | +0,44  |
| $\text{Rh}^{3+}$                              | 3 | $\text{Rh}$                                         | +0,80  |
| $\text{Rh}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+$         | 2 | $2\text{Rh} + 3\text{H}_2\text{O}$                  | +0,87  |
| $\text{RhO}_2 + 2\text{H}^+$                  | 3 | $\text{Rh} + \text{H}_2\text{O}$                    | +1,40  |
| <b>Ртуть</b>                                  |   |                                                     |        |
| $[\text{Hg(CN)}_4]^{2-}$                      | 2 | $\text{Hg} + 4\text{CN}^-$                          | -0,37  |
| $\text{Hg}_2(\text{CN})_2$                    | 2 | $2\text{Hg} + 2\text{CN}^-$                         | -0,36  |
| $\text{Hg}_2\text{I}_2$                       | 2 | $2\text{Hg} + 2\text{I}^-$                          | -0,04  |
| $[\text{HgI}_4]^{2-}$                         | 2 | $\text{Hg} + 4\text{I}^-$                           | -0,039 |

|                                                                    |   |                                                                 |       |
|--------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------|-------|
| HgO + H <sub>2</sub> O                                             | 2 | Hg + 2OH <sup>-</sup>                                           | +0,10 |
| Hg <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> O                               | 2 | 2Hg + 2OH <sup>-</sup>                                          | +0,12 |
| Hg <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>                                    | 2 | 2Hg + 2Br <sup>-</sup>                                          | +0,14 |
| [HgBr <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>                                 | 2 | Hg + 4Br <sup>-</sup>                                           | +0,22 |
| Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>                                    | 2 | 2Hg + 2Cl <sup>-</sup>                                          | +0,27 |
| Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                    | 2 | 2Hg + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                             | +0,61 |
| 2HgCl <sub>2</sub>                                                 | 2 | Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> + 2Cl <sup>-</sup>              | +0,63 |
| Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>                                      | 2 | 2Hg                                                             | +0,80 |
| Hg <sup>2+</sup>                                                   | 2 | Hg                                                              | +0,85 |
| 2Hg <sup>2+</sup>                                                  | 2 | Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>                                   | +0,92 |
| HgO + 2H <sup>+</sup>                                              | 2 | Hg + H <sub>2</sub> O                                           | +0,93 |
| <b>Рубидий</b>                                                     |   |                                                                 |       |
| Rb <sup>+</sup>                                                    | 1 | Rb                                                              | -2,99 |
| <b>Рутений</b>                                                     |   |                                                                 |       |
| RuO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O                               | 4 | Ru + 4OH <sup>-</sup>                                           | -0,04 |
| RuO <sub>4</sub> <sup>-</sup>                                      | 1 | RuO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                                  | +0,60 |
| [RuCl <sub>5</sub> ] <sup>2-</sup>                                 | 3 | Ru + 5Cl <sup>-</sup>                                           | +0,61 |
| RuO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup>                                 | 4 | Ru + 2H <sub>2</sub> O                                          | +0,79 |
| <b>Свинец</b>                                                      |   |                                                                 |       |
| PbS                                                                | 2 | Pb + S <sup>2-</sup>                                            | -0,93 |
| PbO + H <sub>2</sub> O                                             | 2 | Pb + 2OH <sup>-</sup>                                           | -0,58 |
| HPbO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O                               | 2 | Pb + 3OH <sup>-</sup>                                           | -0,54 |
| PbSO <sub>4</sub>                                                  | 2 | Pb + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                              | -0,36 |
| PbO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O                               | 4 | Pb + 4OH <sup>-</sup>                                           | -0,16 |
| Pb <sup>2+</sup>                                                   | 2 | Pb                                                              | -0,13 |
| PbS + 2H <sup>+</sup>                                              | 2 | Pb + H <sub>2</sub> S                                           | +0,07 |
| PbO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O                                | 2 | PbO + 2OH <sup>-</sup>                                          | +0,25 |
| PbO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup>                                 | 2 | Pb <sup>2+</sup> + 2H <sub>2</sub> O                            | +1,45 |
| PbO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 2 | PbSO <sub>4</sub> + 2H <sub>2</sub> O                           | +1,68 |
| Pb <sup>4+</sup>                                                   | 2 | Pb <sup>2+</sup>                                                | +1,69 |
| <b>Селен</b>                                                       |   |                                                                 |       |
| Se                                                                 | 2 | Se <sup>2-</sup>                                                | -0,78 |
| Se + 2H <sup>+</sup>                                               | 2 | H <sub>2</sub> Se                                               | -0,36 |
| SeO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + H <sub>2</sub> O                  | 2 | SeO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 2OH <sup>-</sup>               | +0,03 |
| <b>Сера</b>                                                        |   |                                                                 |       |
| 2SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 2H <sub>2</sub> O                 | 2 | S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 4OH <sup>-</sup>  | -1,26 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + H <sub>2</sub> O                   | 2 | SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 2OH <sup>-</sup>                | -0,92 |
| SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 3H <sub>2</sub> O                  | 6 | S <sup>2-</sup> + 6OH <sup>-</sup>                              | -0,60 |
| 2SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 3H <sub>2</sub> O                 | 4 | S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 6OH <sup>-</sup>  | -0,57 |
| S                                                                  | 2 | S <sup>2-</sup>                                                 | -0,55 |
| 2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 4H <sup>+</sup>                   | 2 | S <sub>2</sub> O <sub>6</sub> <sup>2-</sup> + 2H <sub>2</sub> O | -0,10 |
| S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 6H <sup>+</sup>      | 8 | 2[S <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup> + 3H <sub>2</sub> O            | +0,03 |
| S + 2H <sup>+</sup>                                                | 2 | H <sub>2</sub> S                                                | +0,17 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 4H <sup>+</sup>                    | 2 | H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O               | +0,17 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 4H <sup>+</sup>                    | 2 | SO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O                             | +0,23 |
| 2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 10H <sup>+</sup>                  | 8 | S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 5H <sub>2</sub> O | +0,29 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 8H <sup>+</sup>                    | 6 | S + 4H <sub>2</sub> O                                           | +0,41 |
| 2SO <sub>2</sub> + 2H <sup>+</sup>                                 | 4 | S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + H <sub>2</sub> O  | +0,42 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + 4H <sup>+</sup>                   | 4 | S + 3H <sub>2</sub> O                                           | +0,45 |
| SO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup>                                  | 4 | S + 2H <sub>2</sub> O                                           | +0,48 |
| S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 6H <sup>+</sup>      | 4 | 2S + 3H <sub>2</sub> O                                          | +0,51 |
| S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup>                        | 2 | 2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                                  | +2,01 |
| <b>Серебро</b>                                                     |   |                                                                 |       |
| Ag <sub>2</sub> S                                                  | 2 | 2Ag + S <sup>2-</sup>                                           | -0,71 |
| [Ag(CN) <sub>3</sub> ] <sup>2-</sup>                               | 1 | Ag + 3CN <sup>-</sup>                                           | -0,51 |
| [Ag(CN) <sub>2</sub> ] <sup>-</sup>                                | 1 | Ag + 2CN <sup>-</sup>                                           | -0,30 |
| AgI                                                                | 1 | Ag + I <sup>-</sup>                                             | -0,15 |
| AgCN                                                               | 1 | Ag + CN <sup>-</sup>                                            | -0,04 |
| Ag <sub>2</sub> S + 2H <sup>+</sup>                                | 2 | 2Ag + H <sub>2</sub> S                                          | -0,03 |
| [Ag(S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>3-</sup>   | 1 | Ag + 2S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>               | +0,01 |
| AgBr                                                               | 1 | Ag + Br <sup>-</sup>                                            | +0,07 |
| AgCl                                                               | 1 | Ag + Cl <sup>-</sup>                                            | +0,22 |
| [Ag(SO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>3-</sup>                 | 1 | Ag + 2SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                             | +0,30 |
| Ag <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> O                               | 2 | 2Ag + 2OH <sup>-</sup>                                          | +0,34 |
| [Ag(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>+</sup>                  | 1 | Ag + 2NH <sub>3</sub>                                           | +0,37 |
| 2AgO + H <sub>2</sub> O                                            | 2 | Ag <sub>2</sub> O + 2OH <sup>-</sup>                            | +0,57 |
| Ag <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O                  | 2 | 2AgO + 2OH <sup>-</sup>                                         | +0,74 |
| Ag <sup>+</sup>                                                    | 1 | Ag                                                              | +0,80 |
| Ag <sup>2+</sup>                                                   | 1 | Ag <sup>+</sup>                                                 | +1,98 |
| <b>Скандий</b>                                                     |   |                                                                 |       |
| Sc(OH) <sub>3</sub>                                                | 3 | Sc + 3OH <sup>-</sup>                                           | -2,61 |
| Sc <sup>3+</sup>                                                   | 3 | Sc                                                              | -2,08 |

| Стронций                                    |    |                                              |       |
|---------------------------------------------|----|----------------------------------------------|-------|
| $\text{Sr}^{2+}$                            | 2  | $\text{Sr}$                                  | -2,89 |
| $\text{Sr}(\text{OH})_2$                    | 2  | $\text{Sr} + 2\text{OH}^-$                   | -2,88 |
| Сурьма                                      |    |                                              |       |
| $\text{SbO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$      | 3  | $\text{Sb} + 4\text{OH}^-$                   | -0,67 |
| $\text{Sb} + 3\text{H}^+$                   | 3  | $\text{SbH}_3$                               | -0,51 |
| $\text{SbO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$       | 2  | $\text{SbO}_2^- + 2\text{OH}^-$              | -0,43 |
| $\text{Sb}^{3+}$                            | 3  | $\text{Sb}$                                  | -0,20 |
| Таллий                                      |    |                                              |       |
| $\text{Tl}_2\text{S}$                       | 2  | $2\text{Tl} + \text{S}^{2-}$                 | -0,97 |
| $\text{TlI}$                                | 1  | $\text{Tl} + \text{I}^-$                     | -0,76 |
| $\text{TlI}_3$                              | 3  | $\text{Tl} + 3\text{I}^-$                    | -0,75 |
| $\text{TlBr}$                               | 1  | $\text{Tl} + \text{Br}^-$                    | -0,66 |
| $\text{TlCl}$                               | 1  | $\text{Tl} + \text{Cl}^-$                    | -0,56 |
| $\text{Tl}^+$                               | 1  | $\text{Tl}$                                  | -0,34 |
| $\text{Tl}(\text{OH})_3$                    | 2  | $\text{TlOH} + 2\text{OH}^-$                 | -0,05 |
| $\text{Tl}^{3+}$                            | 2  | $\text{Tl}^+$                                | +1,25 |
| Тантал                                      |    |                                              |       |
| $\text{Ta}_2\text{O}_5 + 10\text{H}^+$      | 10 | $2\text{Ta} + 5\text{H}_2\text{O}$           | -0,81 |
| Теллур                                      |    |                                              |       |
| $\text{Te}$                                 | 2  | $\text{Te}^{2-}$                             | -0,92 |
| $\text{Te} + 2\text{H}^+$                   | 2  | $\text{H}_2\text{Te}$                        | -0,69 |
| $\text{TeO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$    | 2  | $\text{TeO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$           | +0,40 |
| Технеций                                    |    |                                              |       |
| $\text{Tc}^{2+}$                            | 2  | $\text{Tc}$                                  | +0,40 |
| $\text{TcO}_2 + 4\text{H}^+$                | 2  | $\text{Tc}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$       | +0,60 |
| $\text{TcO}_4^- + 4\text{H}^+$              | 3  | $\text{TcO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$         | +0,70 |
| Титан                                       |    |                                              |       |
| $\text{Ti}^{2+}$                            | 2  | $\text{Ti}$                                  | -1,75 |
| $\text{Ti}^{3+}$                            | 3  | $\text{Ti}$                                  | -1,63 |
| $[\text{TiF}_6]^{2-}$                       | 4  | $\text{Ti} + 6\text{F}^-$                    | -1,19 |
| $\text{TiO}_2 + 4\text{H}^+$                | 4  | $\text{Ti} + 2\text{H}_2\text{O}$            | -0,95 |
| $\text{TiO}^{2+} + 2\text{H}^+$             | 4  | $\text{Ti} + \text{H}_2\text{O}$             | -0,88 |
| $\text{Ti}^{3+}$                            | 1  | $\text{Ti}^{2+}$                             | -0,37 |
| $\text{Ti}^{4+}$                            | 1  | $\text{Ti}^{3+}$                             | -0,04 |
| $\text{TiO}^{2+} + 2\text{H}^+$             | 1  | $\text{Ti}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$        | +0,10 |
| Углерод                                     |    |                                              |       |
| $\text{HCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$       | 2  | $\text{HCON} + 3\text{OH}^-$                 | -1,14 |
| $\text{CNO}^- + \text{H}_2\text{O}$         | 2  | $\text{CN}^- + 2\text{OH}^-$                 | -0,97 |
| $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$    | 2  | $\text{HCO}_2^- + 3\text{OH}^-$              | -0,95 |
| $\text{HCON} + 2\text{H}_2\text{O}$         | 2  | $\text{CH}_3\text{OH} + 2\text{OH}^-$        | -0,59 |
| $2\text{CO}_2 + 2\text{H}^+$                | 2  | $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$             | -0,49 |
| $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ | 2  | $\text{CH}_4 + 2\text{OH}^-$                 | -0,25 |
| $\text{CO}_2 + 2\text{H}^+$                 | 2  | $\text{HCOOH}$                               | -0,14 |
| $\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}^+$      | 2  | $\text{CH}_3\text{CON} + \text{H}_2\text{O}$ | -0,01 |
| $\text{HCOOH} + 2\text{H}^+$                | 2  | $\text{HCON} + \text{H}_2\text{O}$           | +0,13 |
| $\text{C} + 4\text{H}^+$                    | 4  | $\text{CH}_4$                                | +0,24 |
| $\text{HCON} + 2\text{H}^+$                 | 2  | $\text{CH}_3\text{OH}$                       | +0,37 |
| $\text{C}_2\text{H}_4 + 2\text{H}^+$        | 2  | $\text{C}_2\text{H}_6$                       | +0,59 |
| $\text{CH}_3\text{OH} + 2\text{H}^+$        | 2  | $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$           | +0,70 |
| $\text{C}_2\text{H}_2 + 2\text{H}^+$        | 2  | $\text{C}_2\text{H}_4$                       | +0,73 |
| $\text{CCl}_4$                              | 4  | $\text{C} + 4\text{Cl}^-$                    | +1,18 |
| Фосфор                                      |    |                                              |       |
| $\text{H}_2\text{PO}_2^-$                   | 1  | $\text{P} + 2\text{OH}^-$                    | -1,92 |
| $\text{HPO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$   | 3  | $\text{P} + 5\text{OH}^-$                    | -1,68 |
| $\text{HPO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$   | 2  | $\text{H}_2\text{PO}_2^- + 3\text{OH}^-$     | -1,56 |
| $\text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O}$    | 2  | $\text{HPO}_3^{2-} + 3\text{OH}^-$           | -1,05 |
| $\text{P} + 3\text{H}_2\text{O}$            | 3  | $\text{PH}_3 + 3\text{OH}^-$                 | -0,88 |
| $\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{H}^+$       | 2  | $\text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | -0,59 |
| $\text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}^+$        | 1  | $\text{P} + 2\text{H}_2\text{O}$             | -0,51 |
| $\text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{H}^+$       | 3  | $\text{P} + 3\text{H}_2\text{O}$             | -0,49 |
| $\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+$       | 2  | $\text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ | -0,28 |
| $\text{P} + 3\text{H}^+$                    | 3  | $\text{PH}_3$                                | -0,06 |
| Фтор                                        |    |                                              |       |
| $\text{F}_2 + 2\text{H}^+$                  | 2  | $2\text{HF}$                                 | +3,06 |
| $\text{F}_2$                                | 2  | $2\text{F}^-$                                | +2,87 |
| $\text{OF}_2 + 2\text{H}^+$                 | 2  | $\text{F}_2 + \text{H}_2\text{O}$            | +2,25 |
| $\text{OF}_2 + 2\text{H}^+$                 | 4  | $2\text{F}^- + \text{H}_2\text{O}$           | +2,10 |
| Хлор                                        |    |                                              |       |

|                                               |   |                                                |       |
|-----------------------------------------------|---|------------------------------------------------|-------|
| $\text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$         | 1 | $\text{ClO}_2 + 2\text{OH}^-$                  | -0,45 |
| $\text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$         | 2 | $\text{ClO}_2^- + 2\text{OH}^-$                | +0,33 |
| $\text{ClO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$         | 2 | $\text{ClO}_3^- + 2\text{OH}^-$                | +0,48 |
| $2\text{ClO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O}$       | 2 | $\text{Cl}_2 + 4\text{OH}^-$                   | +0,52 |
| $\text{ClO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O}$        | 8 | $\text{Cl}^- + 8\text{OH}^-$                   | +0,59 |
| $\text{ClO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$         | 2 | $\text{ClO}^- + 2\text{OH}^-$                  | +0,63 |
| $\text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$        | 6 | $\text{Cl}^- + 6\text{OH}^-$                   | +0,88 |
| $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O}$           | 2 | $\text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$                   | +0,95 |
| $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O}$           | 2 | $\text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$                   | +1,03 |
| $\text{ClO}_3^- + 3\text{H}^+$                | 2 | $\text{HClO}_2 + \text{H}_2\text{O}$           | +1,19 |
| $\text{ClO}_2$                                | 1 | $\text{ClO}_2^-$                               | +1,21 |
| $\text{ClO}_4^- + 2\text{H}^+$                | 2 | $\text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$          | +1,27 |
| $\text{ClO}_2 + \text{H}^+$                   | 1 | $\text{HClO}_2$                                | +1,36 |
| $\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+$                | 7 | $\frac{1}{2}\text{Cl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ | +1,38 |
| $\text{Cl}_2$                                 | 2 | $2\text{Cl}^-$                                 | +1,39 |
| $\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+$                | 8 | $\text{Cl}^- + 4\text{H}_2\text{O}$            | +1,45 |
| $\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+$                | 6 | $\text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$            | +1,50 |
| $\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+$                | 5 | $\frac{1}{2}\text{Cl}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ | +1,59 |
| $\text{HClO} + \text{H}^+$                    | 1 | $\frac{1}{2}\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$  | +1,64 |
| <b>Хром</b>                                   |   |                                                |       |
| $\text{Cr}(\text{OH})_3$                      | 3 | $\text{Cr} + 3\text{OH}^-$                     | -1,30 |
| $\text{CrO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$        | 3 | $\text{Cr} + 4\text{OH}^-$                     | -1,20 |
| $\text{Cr}^{2+}$                              | 2 | $\text{Cr}$                                    | -0,86 |
| $\text{CrCl}_2$                               | 3 | $\text{Cr} + 2\text{Cl}^-$                     | -0,74 |
| $\text{Cr}^{3+}$                              | 3 | $\text{Cr}$                                    | -0,71 |
| $\text{Cr}^{3+}$                              | 1 | $\text{Cr}^{2+}$                               | -0,41 |
| $\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$     | 3 | $\text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$        | -0,12 |
| $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+$   | 6 | $2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$        | +1,33 |
| <b>Цезий</b>                                  |   |                                                |       |
| $\text{Cs}^+$                                 | 1 | $\text{Cs}$                                    | -2,92 |
| <b>Церий</b>                                  |   |                                                |       |
| $\text{Ce}^{3+}$                              | 3 | $\text{Ce}$                                    | +2,48 |
| $\text{Ce}^{4+}$                              | 1 | $\text{Ce}^{3+}$                               | +1,74 |
| <b>Цинк</b>                                   |   |                                                |       |
| $\text{ZnS}$                                  | 2 | $\text{Zn} + \text{S}^{2-}$                    | -1,44 |
| $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$               | 2 | $\text{Zn} + 4\text{CN}^-$                     | -1,26 |
| $\text{Zn}(\text{OH})_2$                      | 2 | $\text{Zn} + 2\text{OH}^-$                     | -1,24 |
| $\text{ZnO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$     | 2 | $\text{Zn} + 4\text{OH}^-$                     | -1,21 |
| $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$             | 2 | $\text{Zn} + 4\text{NH}_3$                     | -1,04 |
| $\text{Zn}^{2+}$                              | 2 | $\text{Zn}$                                    | -0,76 |
| <b>Цирконий</b>                               |   |                                                |       |
| $\text{H}_2\text{ZrO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ | 4 | $\text{Zr} + 4\text{OH}^-$                     | -2,32 |
| $\text{Zr}^{4+}$                              | 4 | $\text{Zr}$                                    | -1,53 |
| $\text{ZrO}_2 + 4\text{H}^+$                  | 4 | $\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O}$              | -1,43 |

Таблица 6.2

**Константы «а» и «b» в уравнении Тафеля для реакции катодного восстановления водорода на металлических электродах при температуре 298,15 К и плотности тока  $i = 1 \frac{\text{А}}{\text{см}^2}$**

| Металл электрода | Константы Тафеля в растворах, <i>B</i> |          |          |          | Металл электрода | Константы Тафеля в растворах, <i>B</i> |          |          |          |
|------------------|----------------------------------------|----------|----------|----------|------------------|----------------------------------------|----------|----------|----------|
|                  | кислотных                              |          | основных |          |                  | кислотных                              |          | основных |          |
|                  | <b>a</b>                               | <b>b</b> | <b>a</b> | <b>b</b> |                  | <b>a</b>                               | <b>b</b> | <b>a</b> | <b>b</b> |
| <b>Ag</b>        | 0,95                                   | 0,10     | 0,73     | 0,12     | <b>Mo</b>        | 0,66                                   | 0,08     | 0,67     | 0,14     |
| <b>Al</b>        | 1,33                                   | 0,10     | 0,64     | 0,14     | <b>Nb</b>        | 0,80                                   | 0,10     | –        | –        |
| <b>Au</b>        | 0,40                                   | 0,12     | –        | –        | <b>Ni</b>        | 0,63                                   | 0,10     | 0,65     | 0,10     |
| <b>Be</b>        | 1,08                                   | 0,12     | –        | –        | <b>Pb</b>        | 1,56                                   | 0,11     | 1,36     | 0,25     |
| <b>Bi</b>        | 0,84                                   | 0,12     | –        | –        | <b>Pd</b>        | 0,24                                   | 0,03     | 0,53     | 0,13     |
| <b>Ge</b>        | 0,97                                   | 0,12     | –        | –        | <b>Pt</b>        | 0,10                                   | 0,03     | 0,31     | 0,10     |
| <b>Cd</b>        | 1,40                                   | 0,18     | 1,05     | 0,16     | <b>Sb</b>        | 1,00                                   | 0,11     | –        | –        |
| <b>Co</b>        | 0,62                                   | 0,14     | 0,60     | 0,14     | <b>Sn</b>        | 1,20                                   | 0,13     | 1,28     | 0,23     |
| <b>Cu</b>        | 0,86                                   | 0,12     | 0,96     | 0,12     | <b>Ti</b>        | 0,82                                   | 0,14     | 0,83     | 0,14     |
| <b>Fe</b>        | 0,70                                   | 0,12     | 0,76     | 0,11     | <b>Tl</b>        | 1,55                                   | 0,14     | –        | –        |
| <b>Hg</b>        | 1,41                                   | 0,11     | 1,54     | 0,11     | <b>Zn</b>        | 1,24                                   | 0,12     | 1,20     | 0,12     |
| <b>Mn</b>        | 0,80                                   | 0,11     | 0,91     | 0,12     | <b>W</b>         | 0,43                                   | 0,10     | –        | –        |

Таблица 6.3

Приближенные значения перенапряжения водорода и кислорода на электродах при температуре

298,15 К и плотности тока  $i = 1 \frac{\text{А}}{\text{см}^2}$ 

| Материал электрода                          | $\eta, \text{В}$ | Материал электрода | $\eta, \text{В}$ | Материал электрода | $\eta, \text{В}$ |
|---------------------------------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| <i>а) Перенапряжение водорода на катоде</i> |                  |                    |                  |                    |                  |
| <b>Ag</b>                                   | 0,34             | <b>Cu</b>          | 0,48             | <b>Pt(блест)</b>   | 0,07             |
| <b>Al</b>                                   | 0,58             | <b>Fe</b>          | 0,36             | <b>Pt (гладк)</b>  | 0,09             |
| <b>Au</b>                                   | 0,15             | <b>Hg</b>          | 1,10             | <b>Pt (черн)</b>   | 0,00             |
| <b>Bi</b>                                   | 0,40             | <b>Ni</b>          | 0,30             | <b>Sb</b>          | 0,63             |
| <b>Ge</b>                                   | 0,39             | <b>Pb</b>          | 1,05             | <b>Sn</b>          | 0,63             |
| <b>Cd</b>                                   | 0,51             | <b>Mo</b>          | 0,35             | <b>Zn</b>          | 0,83             |
| <b>Co</b>                                   | 0,32             |                    |                  |                    |                  |
| <i>б) Перенапряжение кислорода на аноде</i> |                  |                    |                  |                    |                  |
| <b>Ag</b>                                   | 0,97             | <b>Fe</b>          | 1,07             | <b>Pb</b>          | 1,44             |
| <b>C(граф)</b>                              | 1,17             | <b>Ni</b>          | 1,09             | <b>Sn</b>          | 1,21             |
| <b>Cd</b>                                   | 1,38             | <b>Pt (блест)</b>  | 0,00             | <b>Zn</b>          | 1,75             |
| <b>Co</b>                                   | 1,25             | <b>Pt (гладк)</b>  | 0,45             | <b>W</b>           | —                |
| <b>Cu</b>                                   | 1,05             | <b>Pt (черн)</b>   | 0,25             |                    |                  |

Таблица 6.4

Значения химических  $M_3$  (г/моль) и электрохимических  $\varepsilon$  (г/А·с) эквивалентов некоторых ионов

| Катион             | $M_3, \text{г/моль}$ | $\varepsilon, \text{г/А·с}$ | Анион                        | $M_3, \text{г/моль}$ | $\varepsilon, \text{г/А·с}$ |
|--------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| $\text{Ag}^+$      | 107,88               | $1,118 \cdot 10^{-3}$       | $\text{Br}^-$                | 79,92                | $0,828 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Al}^{3+}$   | 8,99                 | $0,093 \cdot 10^{-3}$       | $\text{BrO}_3^-$             | 25,58                | $0,265 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Au}^+$      | 197,20               | $2,043 \cdot 10^{-3}$       | $\text{Cl}^-$                | 35,46                | $0,368 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Au}^{3+}$   | 65,70                | $0,681 \cdot 10^{-3}$       | $\text{ClO}_3^-$             | 16,69                | $0,173 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Ba}^{2+}$   | 68,70                | $0,712 \cdot 10^{-3}$       | $\text{CrO}_4^{2-}$          | 19,33                | $0,200 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Be}^{2+}$   | 4,50                 | $0,047 \cdot 10^{-3}$       | $\text{HCOO}^-$              | 11,50                | $0,117 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Bi}^{3+}$   | 69,67                | $0,722 \cdot 10^{-3}$       | $\text{CH}_3\text{COO}^-$    | 14,75                | $1,498 \cdot 10^{-4}$       |
| $\text{Ca}^{2+}$   | 20,04                | $0,208 \cdot 10^{-3}$       | $\text{CN}^-$                | 5,20                 | $0,539 \cdot 10^{-4}$       |
| $\text{Cd}^{2+}$   | 56,20                | $0,582 \cdot 10^{-3}$       | $\text{CO}_3^{2-}$           | 30,00                | $0,311 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Co}^{2+}$   | 29,47                | $0,305 \cdot 10^{-3}$       | $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  | 44,00                | $0,456 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Cr}^{3+}$   | 17,34                | $0,180 \cdot 10^{-3}$       | $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ | 18,00                | $0,187 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Cu}^+$      | 63,57                | $0,659 \cdot 10^{-3}$       | $\text{F}^-$                 | 19,00                | $0,197 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Cu}^{2+}$   | 31,77                | $0,329 \cdot 10^{-3}$       | $\text{I}^-$                 | 126,42               | $1,310 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Fe}^{2+}$   | 27,92                | $0,289 \cdot 10^{-3}$       | $\text{IO}_3^-$              | 34,88                | $0,362 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Fe}^{3+}$   | 18,61                | $0,193 \cdot 10^{-3}$       | $\text{NO}_3^-$              | 12,20                | $0,126 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{H}^+$       | 1,008                | $0,010 \cdot 10^{-3}$       | $\text{OH}^-$                | 17,00                | $0,177 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Hg}_2^{2+}$ | 200,58               | $2,079 \cdot 10^{-3}$       | $\text{S}^{2-}$              | 16,03                | $0,170 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Hg}^{2+}$   | 100,27               | $1,039 \cdot 10^{-3}$       | $\text{SO}_4^{2-}$           | 16,00                | $0,166 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{K}^+$       | 39,10                | $0,405 \cdot 10^{-3}$       | $\text{Se}^{2-}$             | 39,50                | $0,411 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Li}^+$      | 6,94                 | $0,072 \cdot 10^{-3}$       | $\text{SiO}_3^{2-}$          | 19,02                | $0,197 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Mg}^{2+}$   | 12,16                | $0,126 \cdot 10^{-3}$       | $\text{MnO}_4^-$             | 23,79                | $0,247 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Mn}^{2+}$   | 27,47                | $0,285 \cdot 10^{-3}$       | $\text{NO}_2^-$              | 15,33                | $0,159 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Na}^+$      | 22,90                | $0,238 \cdot 10^{-3}$       | $\text{FeO}_4^{2-}$          | 29,99                | $0,310 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Ni}^{2+}$   | 29,34                | $0,304 \cdot 10^{-3}$       | $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  | 28,00                | $0,290 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Pb}^{2+}$   | 103,60               | $1,074 \cdot 10^{-3}$       | $\text{SO}_3^{2-}$           | 20,0                 | $0,207 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Sb}^{3+}$   | 40,59                | $0,421 \cdot 10^{-3}$       | $\text{SiF}_6^{2-}$          | 71,05                | $1,473 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Sn}^{2+}$   | 59,40                | $0,616 \cdot 10^{-3}$       | $\text{AuCl}_4^-$            | 339,0                | $3,513 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Sn}^{4+}$   | 26,90                | $0,308 \cdot 10^{-3}$       | $\text{WO}_4^{2-}$           | 41,31                | $0,426 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Sr}^{2+}$   | 43,80                | $0,454 \cdot 10^{-3}$       | $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$  | 13,71                | $0,142 \cdot 10^{-3}$       |
| $\text{Zn}^{2+}$   | 32,69                | $0,339 \cdot 10^{-3}$       | $\text{PO}_4^{3-}$           | 31,66                | $0,328 \cdot 10^{-3}$       |

## Электрические свойства растворов электролитов

Таблица 7.1

Удельная электрическая проводимость некоторых веществ в растворах электролитов различных концентраций при температуре 298,15 К

| Раствор вещества           | Химическая формула                              | Удельная электрическая проводимость $\kappa$ (См/см),<br>при концентрациях |        |        |
|----------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------|--------|
|                            |                                                 | 1,0 н.                                                                     | 0,5 н. | 0,1 н. |
| Кислоты                    |                                                 |                                                                            |        |        |
| Соляная                    | HCl                                             | 0,3000                                                                     | 0,1800 | 0,0380 |
| Серная                     | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 0,1700                                                                     | 0,1000 | 0,0250 |
| Плавиковая                 | HF                                              | -                                                                          | 0,0080 | 0,0040 |
| Уксусная                   | CH <sub>3</sub> COOH                            | 0,0015                                                                     | 0,0011 | 0,0005 |
| Хромовая                   | H <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>                 | 0,3100                                                                     | 0,1700 | 0,0370 |
| Щелочи                     |                                                 |                                                                            |        |        |
| Калия гидроксид            | KOH                                             | 0,2000                                                                     | 0,1000 | 0,0220 |
| Натрия гидроксид           | NaOH                                            | 0,1720                                                                     | 0,1000 | 0,0200 |
| Соли                       |                                                 |                                                                            |        |        |
| Аммония хлорид             | NH <sub>4</sub> Cl                              | 0,1070                                                                     | 0,0570 | 0,0128 |
| Калия хлорид               | KCl                                             | 0,110                                                                      | 0,0590 | 0,0128 |
| Натрия хлорид              | NaCl                                            | 0,0830                                                                     | 0,0450 | 0,0108 |
| Никеля (II) хлорид         | NiCl <sub>2</sub>                               | 0,0171                                                                     | 0,0400 | 0,0095 |
| Аммония сульфат            | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 0,0800                                                                     | 0,0435 | 0,0106 |
| Кадмия сульфат             | CdSO <sub>4</sub>                               | 0,0273                                                                     | 0,0161 | 0,0047 |
| Магния сульфат             | MgSO <sub>4</sub>                               | 0,0334                                                                     | 0,0202 | 0,0059 |
| Меди (II) сульфат          | CuSO <sub>4</sub>                               | 0,0294                                                                     | 0,0178 | 0,0062 |
| Натрия сульфат             | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                 | 0,0588                                                                     | 0,0340 | 0,0090 |
| Никеля (II) сульфат        | NiSO <sub>4</sub>                               | 0,030                                                                      | 0,0188 | 0,0051 |
| Цинка сульфат              | ZnSO <sub>4</sub>                               | 0,0300                                                                     | 0,0188 | 0,0055 |
| Натрия карбонат            | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                 | 0,0525                                                                     | 0,0322 | 0,0083 |
| Натрия дигидрофосфат       | NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                | 0,0320                                                                     | 0,0190 | 0,0050 |
| Свинца (II) тетрафторборат | [Pb(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ]            | 0,1090                                                                     | -      | -      |

Таблица 7.2

Предельная молярная электрическая проводимость эквивалентов некоторых катионов  $\lambda_{\text{к}}^{\infty} (1/z_{\text{Cat}}) \cdot 10^{-4}$  и анионов  $\lambda_{\text{а}}^{\infty} (1/z_{\text{An}}) \cdot 10^{-4}$  См · м<sup>2</sup>/моль в водном растворе при различных температурах

| Ион-эквивалент               | Предельные эквивалентные электропроводности при температурах (в °K) |       |       |       |       |       |       |       |       | Температурный коэффициент <i>a</i> |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------------|
|                              | 273                                                                 | 278   | 288   | 291   | 298   | 308   | 318   | 328   | 373   |                                    |
| Катионы                      |                                                                     |       |       |       |       |       |       |       |       |                                    |
| H <sup>+</sup>               | 225,0                                                               | 250,1 | 300,6 | 315,0 | 349,8 | 397,0 | 441,4 | 483,1 | 630,0 | 0,014                              |
| Li <sup>+</sup>              | 19,4                                                                | 22,8  | 30,2  | 32,8  | 38,7  | 48,0  | 58,0  | 68,7  | 115,0 | 0,021                              |
| Na <sup>+</sup>              | 26,5                                                                | 30,3  | 39,8  | 42,8  | 50,8  | 61,5  | 73,7  | 86,9  | 145,0 | 0,021                              |
| K <sup>+</sup>               | 40,7                                                                | 46,7  | 59,7  | 63,9  | 73,5  | 88,2  | 103,5 | 119,3 | 195,0 | 0,019                              |
| Rb <sup>+</sup>              | 43,9                                                                | 50,1  | 63,4  | 66,5  | 77,8  | 92,9  | 108,5 | 124,2 | -     | 0,021                              |
| Cs <sup>+</sup>              | 44,0                                                                | 50,0  | 63,2  | 67,0  | 77,2  |       |       |       | -     | 0,019                              |
| Ag <sup>+</sup>              | 33,1                                                                | -     | -     | 53,5  | 61,9  | 92,1  | 107,5 | 123,7 | 175,0 | 0,019                              |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | 40,2                                                                | -     | -     | 63,9  | 73,6  | -     | -     | -     | 180,0 | 0,019                              |
| ½Mg <sup>2+</sup>            | 28,9                                                                | -     | -     | 44,9  | 53,0  | -     | -     | -     | 165,0 | 0,022                              |
| ½Ca <sup>2+</sup>            | 31,2                                                                | -     | 47,0  | 50,7  | 59,5  | 88,7  | -     | -     | -     | 0,021                              |
| ½Sr <sup>2+</sup>            | 31,0                                                                | -     | -     | 50,6  | 59,5  | -     | 88,2  | -     | 180,0 | 0,021                              |
| ½Ba <sup>2+</sup>            | 34,0                                                                | -     | -     | 54,6  | 63,6  | 73,3  | -     | -     | -     | 0,020                              |
| ½Cd <sup>2+</sup>            | 28,0                                                                | -     | -     | 45,1  | 54,0  | -     | -     | -     | 195,0 | 0,020                              |
| ½Fe <sup>2+</sup>            | 28,0                                                                | -     | -     | 44,5  | 53,5  | -     | -     | -     | -     | 0,024                              |
| ½Cu <sup>2+</sup>            | 28,0                                                                | -     | -     | 45,3  | 56,6  | -     | -     | -     | -     | 0,024                              |
| ½Zn <sup>2+</sup>            | 28,0                                                                | -     | -     | 45,0  | 54,0  | -     | -     | -     | -     | 0,019                              |

|                                            |       |      |      |       |       |      |       |       |       |       |
|--------------------------------------------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| $\frac{1}{2}\text{Pb}^{2+}$                |       |      |      |       | 70,0  |      |       |       |       |       |
| $\frac{1}{3}\text{Fe}^{3+}$                |       |      |      |       | 68,0  |      |       |       |       |       |
| $\frac{1}{3}\text{Al}^{3+}$                |       |      |      |       | 63,0  |      |       |       |       |       |
| $\frac{1}{3}\text{Pt}^{3+}$                |       |      |      |       | 69,8  |      |       |       |       |       |
| <b>Анионы</b>                              |       |      |      |       |       |      |       |       |       |       |
| $\text{OH}^-$                              | 105,0 | -    | -    | 171,0 | 198,3 | -    | -     | -     | 450,0 | 0,020 |
| $\text{F}^-$                               | -     | 47,5 | 61,4 | 47,3  | 55,4  | 92,2 | 108,9 | 126,4 | -     | 0,021 |
| $\text{Cl}^-$                              | 41,0  | 49,2 | 63,1 | 66,0  | 76,3  |      |       |       | 212,0 | 0,019 |
| $\text{Br}^-$                              | 42,6  | 48,6 | 62,2 | 68,0  | 78,1  | 94,0 |       | 127,9 | -     | 0,019 |
| $\text{I}^-$                               | 41,4  | -    | -    | 66,5  | 76,8  | 92,4 | 108,6 | 125,4 | -     | 0,019 |
| $\text{NO}_3^-$                            | 40,0  | -    | -    | 62,3  | 71,5  | 85,5 | -     | -     | 195,0 | 0,018 |
| $\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}$              | 41,0  | -    | -    | 68,4  | 80,0  | -    | -     | -     | 260,0 | 0,020 |
| $\frac{1}{2}\text{CrO}_4^{2-}$             | 42,0  | -    | -    | 72,0  | 85,0  | -    | -     | -     | -     | 0,021 |
| $\frac{1}{2}\text{CO}_3^{2-}$              |       |      |      |       | 69,3  |      |       |       |       |       |
| $\text{HCO}_3^-$                           |       |      |      |       | 44,5  |      |       |       |       |       |
| $\text{ClO}_4^-$                           |       |      |      |       | 67,3  |      |       |       |       |       |
| $\frac{1}{2}\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$     |       |      |      |       | 74,0  |      |       |       |       |       |
| $\frac{1}{2}\text{HPO}_4^{2-}$             |       |      |      |       | 57,0  |      |       |       |       |       |
| $\frac{1}{3}\text{H}_2\text{PO}_4^-$       |       |      |      |       | 12,0  |      |       |       |       |       |
| $\text{HCOO}^-$                            |       |      |      |       | 54,6  |      |       |       |       |       |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-$         |       |      |      |       | 35,8  |      |       |       |       |       |
| $\text{CH}_3\text{COO}^-$                  |       |      |      |       | 40,9  |      |       |       |       |       |
| $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$         |       |      |      |       | 32,3  |      |       |       |       |       |
| $\frac{1}{4}[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ |       |      |      |       | 110,5 |      |       |       |       |       |
| $\frac{1}{3}[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ |       |      |      |       | 100,9 |      |       |       |       |       |

Таблица 7.3

Значения потенциалов электродов сравнения, измеренных относительно нормального водородного электрода при температуре 298,15 К

| № п/п | Наименование электрода сравнения, графическая формула                                                                                     | Электродная реакция                                                                                                                                                                                                               | Формула или значение потенциала, В                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Каломельный электрод (КЭС), $\text{Hg} \text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{KCl}$                                                                | $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$<br>Чаще применяется насыщенный КЭС                                                                                                               | $\varphi_{\text{Hg} \text{Hg}_2\text{Cl}_2, 0,1 \text{ н. KCl}}^0 = 0,3341 - 6,0 \cdot 10^{-5}(t - 25)$<br>$\varphi_{\text{Hg} \text{Hg}_2\text{Cl}_2, 1,0 \text{ н. KCl}}^0 = 0,2812 - 2,4 \cdot 10^{-4}(t - 25)$<br>$\varphi_{\text{Hg} \text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{KCl}_{\text{насыщ}}}^0 = 0,2415 - 6,5 \cdot 10^{-4}(t - 25)$ |
| 2     | Хлорсеребряный электрод $\text{Ag} \text{AgCl}, \text{KCl}$                                                                               | $\text{AgCl} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl}^-$                                                                                                                                                                | $\varphi_{\text{Ag} \text{AgCl}}^0 = 0,2224 - 2,7 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot \lg a(\text{Cl}^-)$<br>применяется в широком диапазоне pH                                                                                                                                                                                              |
| 3     | Оксидно-ртутный электрод $\text{Hg} \text{HgO}, \text{KOH}$                                                                               | $\text{HgO} + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Hg} + 2\text{OH}^-$                                                                                                                                          | $\varphi_{\text{Hg} \text{HgO}}^0 = 0,098 + 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot \lg \frac{\sqrt{a(\text{H}_2\text{O})}}{a(\text{OH}^-)}$<br>При $a(\text{H}_2\text{O}) = 1,0$ кг/моль<br>$\varphi_{\text{Hg} \text{HgO}}^0 = 0,926 - 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot \text{pH}$                                                          |
| 4     | Ртутно-сульфатный электрод $\text{Hg} \text{Hg}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{SO}_4$                                                      | $\text{Hg}_2\text{SO}_4 + 2\bar{e} \rightleftharpoons 2\text{Hg} + \text{SO}_4^{2-}$<br>Применяется в сульфатных электролитах                                                                                                     | $\varphi_{\text{Hg} \text{Hg}_2\text{SO}_4}^0 = 0,6641 - 0,0296 \cdot \lg a(\text{SO}_4^{2-})$<br>В 1 н. р-ре $\text{Na}_2\text{SO}_4$<br>$\varphi_{\text{Hg} \text{Hg}_2\text{SO}_4}^0 = 0,6141 - 8,0 \cdot 10^{-4} \cdot (t - 25)$                                                                                                 |
| 5     | Цинковый электрод $\text{Zn} \text{Zn}(\text{OH})_2, \text{KOH}$ ;<br>Кадмиевый электрод $\text{Cd} \text{CdSO}_4, \text{H}_2\text{SO}_4$ | $\text{Zn} + 2\text{OH}^- - 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{OH})_2$<br>$\text{Cd} + 2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{CdSO}_4 + \text{H}_2$<br>Применяются для измерения $U_{\text{вых}}$ аккумуляторов | $\varphi_{\text{Zn} \text{Zn}(\text{OH})_2 (5 \text{ н.})}^0 = -1,24 \text{ В (для щелочных акк.)}$<br>$\varphi_{\text{Cd} \text{CdSO}_4 (10 \text{ н.})}^0 = -0,40 \text{ В (для кислотных акк.)}$                                                                                                                                  |

## Физико-химические свойства некоторых металлов

Таблица 8.1

## Физические и электрические константы некоторых металлов

| Металл, химический символ | Молярная масса, г/моль | Температура плавления, К | Удельное сопротивление, $\rho \cdot 10^{-6}$ (Ом · м) | Эквивалентная электропроводность, $\lambda \cdot 10^{-4}$ ( $\frac{\text{см}^2}{\text{моль}}$ ) | Теплопроводность, Q (МДж/кг·К) | Микротвердость, НВ (Н/мм <sup>2</sup> ) |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| Алюминий Al               | 26,98                  | 933                      | 0,028                                                 | 0,215                                                                                           | 2219,0                         | 147,09-245,15                           |
| Бериллий Be               | 9,01                   | 1558                     | 0,059                                                 | 0,520                                                                                           | 1591,0                         | 588,36-1372,84                          |
| Ванадий V                 | 50,94                  | 1993                     | 0,190                                                 | 0,120                                                                                           | -                              | 2549,56                                 |
| Висмут Bi                 | 208,98                 | 544                      | 1,010                                                 | 0,030                                                                                           | 83,74                          | 88,25                                   |
| Вольфрам W                | 183,85                 | 3653                     | 0,050                                                 | 0,032                                                                                           | 1591,0                         | 3432,10                                 |
| Железо Fe                 | 55,85                  | 1803                     | 0,097                                                 | 0,108                                                                                           | 728,50                         | 588,36                                  |
| Золото Au                 | 196,97                 | 1336                     | 0,023                                                 | 0,031                                                                                           | 3140,10                        | 1814,11                                 |
| Индий In                  | 114,82                 | 429                      | 0,084                                                 | 0,056                                                                                           | 238,65                         | 9,81                                    |
| Иридий Ir                 | 192,22                 | 2727                     | 0,050                                                 | 0,031                                                                                           | 586,15                         | -                                       |
| Кадмий Cd                 | 112,41                 | 594                      | 0,076                                                 | 0,055                                                                                           | 929,47                         | 156,90                                  |
| Кобальт Co                | 58,93                  | 1765                     | 0,062                                                 | 0,093                                                                                           | 711,76                         | 1225,75                                 |
| Магний Mg                 | 24,31                  | 923                      | 0,045                                                 | 0,243                                                                                           | 1716,59                        | 343,21                                  |
| Марганец Mn               | 54,94                  | 1520                     | 1,850                                                 | 0,121                                                                                           | 502,42                         | -                                       |
| Медь Cu                   | 63,55                  | 1356                     | 0,017                                                 | 0,092                                                                                           | 3914,66                        | 343,21                                  |
| Молибден Mo               | 95,94                  | 2895                     | 0,052                                                 | 0,059                                                                                           | 1465,38                        | 1568,96                                 |
| Никель Ni                 | 58,70                  | 1725                     | 0,068                                                 | 0,107                                                                                           | 900,16                         | 784,48-1176,72                          |
| Олово Sn                  | 118,69                 | 505                      | 0,115                                                 | 0,054                                                                                           | 669,89                         | 392,24                                  |
| Палладий Pd               | 106,42                 | 1828                     | 0,109                                                 | 0,054                                                                                           | 669,89                         | -                                       |
| Платина Pt                | 195,08                 | 2047                     | 0,098                                                 | 0,032                                                                                           | 711,76                         | 392,24-539,33                           |
| Рений Re                  | 186,21                 | 3443                     | 0,198                                                 | 0,033                                                                                           | -                              | -                                       |
| Родий Rh                  | 102,91                 | 2239                     | 0,043                                                 | 0,059                                                                                           | 879,23                         | 1431,68                                 |
| Рутений Ru                | 101,07                 | 2773                     | 0,076                                                 | 0,055                                                                                           | -                              | -                                       |
| Свинец Pb                 | 207,20                 | 600                      | 0,207                                                 | 0,031                                                                                           | 355,98                         | 39,22-68,64                             |
| Серебро Ag                | 107,87                 | 1233                     | 0,016                                                 | 0,056                                                                                           | 1418,68                        | 245,15                                  |
| Сурьма Sb                 | 121,75                 | 903                      | 0,386                                                 | 0,050                                                                                           | 188,41                         | 343,21-392,24                           |
| Тантал Ta                 | 180,95                 | 3273                     | 0,144                                                 | 0,033                                                                                           | 544,28                         | -                                       |
| Титан Ti                  | 47,90                  | 2093                     | 0,800                                                 | 0,113                                                                                           | 376,81                         | 1568,96-2549,56                         |
| Хром Cr                   | 52,00                  | 2163                     | 0,039                                                 | 0,110                                                                                           | 2721,42                        | 686,42                                  |
| Цинк Zn                   | 65,38                  | 692                      | 0,055                                                 | 0,092                                                                                           | 1256,04                        | 343,21                                  |

Таблица 8.2

## Плотности некоторых металлов и сплавов при температуре 293,15 К

| Металл                            | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Металл                       | Плотность, г/см <sup>3</sup> |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Алюминий                          | 2,70                         | Медь                         | 8,90                         |
| Висмут                            | 9,82                         | Натрий                       | 0,97                         |
| Вольфрам                          | 19,10                        | Никель                       | 8,60                         |
| Железо                            | 7,87                         | Олово                        | 7,40                         |
| Золото                            | 19,33                        | Платина                      | 21,15                        |
| Кадмий                            | 8,65                         | Ртуть                        | 13,55                        |
| Кальций                           | 1,54                         | Свинец                       | 11,34                        |
| Калий                             | 0,86                         | Серебро                      | 10,55                        |
| Кобальт                           | 8,80                         | Сурьма                       | 6,69                         |
| Магний                            | 1,74                         | Титан                        | 4,50                         |
| Марганец                          | 7,30                         | Хром                         | 6,70                         |
|                                   |                              | Цинк                         | 7,13                         |
| СПЛАВ                             |                              | Плотность, г/см <sup>3</sup> |                              |
| Бронза алюминиевая БрА7           |                              | 7,8                          |                              |
| Бронза оловянистая БрО10          |                              | 8,7                          |                              |
| Латунь Л68                        |                              | 8,60                         |                              |
| Латунь (томпак) Л90               |                              | 8,78                         |                              |
| Свинцово-сурьмяный сплав (6 % Sb) |                              | 10,89                        |                              |
| Сталь Х13 нержавеющая             |                              | 7,75                         |                              |
| Сталь IX18Н9Т конструкционная     |                              | 7,80                         |                              |
| Сталь СТЗ многоуглеродистая       |                              | 7,84                         |                              |

## Предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых загрязняющих веществ в водоемах

| Химическое соединение                                | Формула                                                                         | ПДК (мг/л)  |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Аммиак                                               | $\text{NH}_3$                                                                   | 0,05        |
| Анилин                                               | $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$                                               | 0,0001      |
| Ацетон                                               | $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$                                                      | 0,05        |
| Бария соединения в пересчете на $\text{Ba}^{2+}$     | $\text{Ba}^{2+}$                                                                | 2,0         |
| Бензол                                               | $\text{C}_6\text{H}_6$                                                          | 0,5         |
| Бромбензол                                           | $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$                                                 | 0,0001      |
| Бериллия соединения в пересчете на $\text{Be}^{2+}$  | $\text{Be}^{2+}$                                                                | 0,0002      |
| Бромнафталин                                         | $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{Br}$                                              | 0,000001    |
| Ванадия соединения в пересчете на V(5)               | -                                                                               | 0,001       |
| Вольфрамат-ион                                       | $\text{WO}_4^{2-}$                                                              | 0,0008      |
| Гидразингидрат                                       | $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$                                 | 0,01        |
| Гранозан                                             | $\text{C}_2\text{H}_5\text{HgCl}$                                               | 0,00001     |
| ДДТ технический                                      | $\text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5$                                            | Отсутствие! |
| Диэтилдитиокарбамат натрия                           | $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{NCS}_2\text{Na}$                                  | 0,0001      |
| Железа (2) катион                                    | $\text{Fe}^{2+}$                                                                | 0,005       |
| Железа (3) катион                                    | $\text{Fe}^{3+}$                                                                | 0,05        |
| И-21-Д Ингибитор коррозии металлов                   | -                                                                               | 0,0001      |
| Кадмия хлорид в пересчете на $\text{Cd}^{2+}$        | $\text{CdCl}_2$                                                                 | 0,01        |
| Калия цианид в пересчете на $\text{CN}^-$            | $\text{KCN}$                                                                    | 0,01        |
| Калия дихромат                                       | $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$                                               | 0,05        |
| Карбофос                                             | $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_6\text{PS}_2$                               | Отсутствие! |
| Кобальт-катион                                       | $\text{Co}^{2+}$                                                                | 0,01        |
| Лития гидроксид в пересчете на $\text{Li}^+$         | $\text{LiOH}$                                                                   | 0,0007      |
| Меди сульфат в пересчете на $\text{Cu}^{2+}$         | $\text{CuSO}_4$                                                                 | 0,001       |
| Молибдена соединения в пересчете на Mo(6)            | $\text{MoO}_4^{2-}$                                                             | 0,0012      |
| Мышьяка оксид в пересчете на $\text{As}^{3+}$        | $\text{As}_2\text{O}_3$                                                         | 0,05        |
| Нафталин                                             | $\text{C}_{10}\text{H}_8$                                                       | 0,004       |
| Соли никеля в пересчете на $\text{Ni}^{2+}$          | $\text{Ni}^{2+}$                                                                | 0,10        |
| Ртуті оксид в пересчете на $\text{Hg}^{2+}$          | $\text{HgO}$                                                                    | 0,00005     |
| Ртуті сульфат                                        | $\text{HgSO}_4$                                                                 | 0,00001     |
| Свинца соединения в пересчете на $\text{Pb}^{2+}$    | $\text{Pb}^{2+}$                                                                | 0,0510      |
| Селена соединения в пересчете на $\text{SeO}_3^{2-}$ | $\text{SeO}_3^{2-}$                                                             | 0,001       |
| Серебро                                              | $\text{Ag}$                                                                     | 0,05        |
| Сулема                                               | $\text{HgCl}_2$                                                                 | 0,00001     |
| Сурьмы соединения в пересчете на Sb(5)               | -                                                                               | 0,05        |
| Теллура соединения в пересчете на $\text{Te}^{2+}$   | $\text{Te}^{2+}$                                                                | 0,0026      |
| Титана соединения в пересчете на Ti(4)               | -                                                                               | 0,10        |
| Трихлорбензол                                        | $\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_3$                                               | 0,001       |
| Уран естественный                                    | $\text{U}$                                                                      | 0,05        |
| Фенолы                                               | $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ и др.                                           | 0,001       |
| Хлор свободный                                       | $\text{Cl}_2$                                                                   | Отсутствие! |
| Хлорофос и его производные                           | -                                                                               | Отсутствие! |
| Хлороформ                                            | $\text{CHCl}_3$                                                                 | 0,005       |
| Хрома соединения в пересчете на Cr(6)                | -                                                                               | 0,001       |
| Цианистоводородная кислота                           | $\text{HCN}$                                                                    | 0,10        |
| Цианиды                                              | $\text{CN}^-$                                                                   | 0,05        |
| Циклогексан                                          | $\text{C}_6\text{H}_{12}$                                                       | 0,01        |
| Цинка катион                                         | $\text{Zn}^{2+}$                                                                | 0,01        |
| Этилбензол                                           | $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5$                                      | 0,001       |
| Этилцеллюлоза                                        | $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3 - x (\text{OC}_2\text{H}_5)_x]_n$ | 7,0         |
| Янтарная кислота                                     | $(\text{CH}_2)_2(\text{COOH})_2$                                                | 0,01        |

Таблица 9.2

## Предельно-допустимые концентрации некоторых загрязняющих веществ в воздухе населенных пунктов

| № п/п         | Загрязняющее вещество | Формула                                                     | ПДК, мг/м³           |                | Класс опасности |
|---------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------|----------------|-----------------|
|               |                       |                                                             | Максимальная разовая | Среднесуточная |                 |
| Основные      |                       |                                                             |                      |                |                 |
| 1.            | Твердые (пыль)        | -                                                           | 0,5                  | 0,15           | 3               |
| 2.            | Серы диоксид          | SO <sub>2</sub>                                             | 0,5                  | 0,05           | 3               |
| 3.            | Азота диоксид         | NO <sub>2</sub>                                             | 0,085                | 0,04           | 2               |
| 4.            | Азота оксид           | NO                                                          | 0,4                  | 0,06           | 3               |
| 5.            | Углерода оксид        | CO                                                          | 5,0                  | 3,0            | 4               |
| Специфические |                       |                                                             |                      |                |                 |
| 6.            | Аммиак                | NH <sub>3</sub>                                             | 0,2                  | 0,04           | 4               |
| 7.            | Ангидрид уксусный     | (CH <sub>3</sub> CO) <sub>2</sub> O                         | 0,5                  | 0,05           | 3               |
| 8.            | Ацетальдегид          | CH <sub>3</sub> CHO                                         | 0,01                 | 0,01           | 3               |
| 9.            | Ацетон                | (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO                          | 0,35                 | 0,35           | 4               |
| 10.           | Ацетофенон            | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COCH <sub>3</sub>             | 0,003                | 0,003          | 3               |
| 11.           | Бензапирен            | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>                             | -                    | 0,00001        | 1               |
| 12.           | Бензол                | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                               | 1,5                  | 0,8            | 2               |
| 13.           | Бутан                 | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>                              | 200,0                | -              | 4               |
| 14.           | Ванадия оксид         | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                               | -                    | 0,002          | 2               |
| 15.           | Гексан                | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>                              | 60,0                 | -              | 4               |
| 16.           | Гексахлорциклогексан  | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>               | 0,03                 | 0,03           | 1               |
| 17.           | Диметиламин           | (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH                          | 0,005                | 0,005          | 2               |
| 18.           | Дихлорэтан            | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>               | 3,0                  | 1,0            | 2               |
| 19.           | Кадмия оксид          | CdO                                                         | -                    | 0,001          | 2               |
| 20.           | Кислота серная        | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                              | 0,3                  | 0,1            | 2               |
| 21.           | Кислота уксусная      | CH <sub>3</sub> COOH                                        | 0,2                  | 0,06           | 3               |
| 22.           | Ксилол                | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>                              | 0,2                  | 0,2            | 3               |
| 23.           | Марганца оксид        | MnO <sub>2</sub>                                            | -                    | 0,001          | 2               |
| 24.           | Меди оксид            | CuO                                                         | -                    | 0,002          | 2               |
| 25.           | Метилацетат           | CH <sub>3</sub> COOCH <sub>3</sub>                          | 0,07                 | 0,07           | 4               |
| 26.           | Мышьяк                | As                                                          | 0,003                | 0,003          | 2               |
| 27.           | Нафталин              | C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>                              | 0,003                | 0,003          | 4               |
| 28.           | Никель-катион         | Ni <sup>2+</sup>                                            | -                    | 0,001          | 2               |
| 29.           | Пентан                | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>                              | 100,0                | 25,0           | 4               |
| 30.           | Пиридин               | C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N                             | 0,08                 | 0,08           | 2               |
| 31.           | Пропилен              | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                               | 3,0                  | 3,0            | 3               |
| 32.           | Ртуть                 | Hg                                                          | -                    | 0,0003         | 1               |
| 33.           | Свинец                | Pb                                                          | -                    | 0,0003         | 1               |
| 34.           | Сероводород           | H <sub>2</sub> S                                            | 0,008                | 0,008          | 2               |
| 35.           | Сероуглерод           | CS <sub>2</sub>                                             | 0,03                 | 0,005          | 2               |
| 36.           | Спирт изобутиловый    | (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> OH        | 0,10                 | 0,10           | 4               |
| 37.           | Спирт изопропиловый   | (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH                        | 0,60                 | 0,60           | 3               |
| 38.           | Спирт метиловый       | CH <sub>3</sub> OH                                          | 1,0                  | 0,5            | 3               |
| 39.           | Спирт этиловый        | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH                            | 5,0                  | 5,0            | 3               |
| 40.           | Стирол                | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>                               | 0,003                | 0,003          | 3               |
| 41.           | Толуол                | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>                               | 0,6                  | 0,6            | 3               |
| 42.           | Углерод 4-х хлористый | CCl <sub>4</sub>                                            | 4,0                  | 2,0            | 2               |
| 43.           | Фенол                 | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH                            | 0,01                 | 0,003          | 2               |
| 44.           | Формальдегид          | HCHO                                                        | 0,035                | 0,003          | 2               |
| 45.           | Фторид водорода       | HF                                                          | 0,02                 | 0,005          | 2               |
| 46.           | Фурфурол              | C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>                | 0,05                 | 0,05           | 3               |
| 47.           | Хлористый водород     | HCl                                                         | 0,2                  | 0,2            | 3               |
| 48.           | Хлор                  | Cl <sub>2</sub>                                             | 0,1                  | 0,03           | 2               |
| 49.           | Хрома оксид           | CrO <sub>3</sub>                                            | 0,0015               | 0,0015         | 1               |
| 50.           | Циановодород          | HCN                                                         | -                    | 0,01           | 2               |
| 51.           | Циклогексан           | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>                              | 1,4                  | 1,4            | 4               |
| 52.           | Циклогексанол         | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O                            | 0,06                 | 0,06           | 3               |
| 53.           | Цинк                  | Zn                                                          | -                    | 0,05           | 3               |
| 54.           | Этилацетат            | CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>            | 0,10                 | 0,10           | 4               |
| 55.           | Этилен                | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                               | 3,0                  | 3,0            | 3               |
| 56.           | Этилена оксид         | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O                             | 0,30                 | 0,03           | 3               |
| 57.           | Этилбензол            | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> | 0,02                 | 0,02           | 3               |

Таблица 10

## Важнейшие физико-химические постоянные

| № п/п | Наименование константы                                                  | Обозначение, единицы измерения                                                                                                                                                                  | Величина константы                                   |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1.    | Атомная единица массы                                                   | а. е. М, кг                                                                                                                                                                                     | $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг                             |
| 2.    | Масса электрона                                                         | $m_e$ , кг                                                                                                                                                                                      | $9,11 \cdot 10^{-31}$ кг                             |
| 3.    | Масса протона                                                           | $m_p$ , кг                                                                                                                                                                                      | $1,673 \cdot 10^{-27}$ кг                            |
| 4.    | Масса нейтрона                                                          | $m_n$ , кг                                                                                                                                                                                      | $1,675 \cdot 10^{-27}$ кг                            |
| 5.    | Постоянная Авогадро                                                     | $N_A$ , моль <sup>-1</sup>                                                                                                                                                                      | $6,022 \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>             |
| 6.    | Объемная постоянная<br>Авогадро (мольный объем)                         | $\vartheta_m$ , л/моль                                                                                                                                                                          | 22,714 л/моль                                        |
| 7.    | Молярная (универсальная)<br>газовая постоянная<br>(постоянная Ридберга) | $R$ , $\frac{\text{кПа} \cdot \text{л}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ , или $\frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ , или $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ | $8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ |
| 8.    | Элементарный<br>электрический заряд                                     | $e$ , Кл или А·с                                                                                                                                                                                | $1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл                            |
| 9.    | Постоянная Фарадея                                                      | F, Кл/моль                                                                                                                                                                                      | 96484,56 Кл/моль                                     |
| 10.   | Постоянная Планка                                                       | $h$ , Дж·с                                                                                                                                                                                      | $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с                          |
| 11.   | Постоянная Больцмана                                                    | K, Дж/К                                                                                                                                                                                         | $1,380 \cdot 10^{-23}$ Дж/К                          |

Учебно-методическое издание

**ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Учебно-методическое пособие

*Часть 2*

**Контрольно-измерительные материалы**

**Составители:**

Елена Васильевна Бомешко

Елена Анатольевна Яхова

Издается в авторской редакции

Компьютерная верстка: Запорожан Ю. А.

ИЛ № 06150. Сер. АЮ от 21.02.02.

Подписано в печать 10.03.25. Формат 60×90/16.

Усл. печ. л. 3,4. Электронное издание. Заказ № 571.