

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,  
Акад. РАН, профессор



/В.В. Лунин/

«27» февраля 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Коррозия металлов и сплавов**

**Уровень высшего образования:**  
Специалитет

---

**Направление подготовки (специальность):**  
04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
Химия твердого тела

**Форма обучения:**  
очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протокол №1 от 27.01.2017)

Москва 2017

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета), утвержденного приказом МГУ от 22 июля 2011 года № 729 (в редакции приказов МГУ от 22 ноября 2011 года № 1066, от 21 декабря 2011 года № 1228, от 30 декабря 2011 года № 1289, от 27 апреля 2012 года № 303, от 30 декабря 2016 года № 1671).

Год (годы) приема на обучение

2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок ПД.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП (в форме компетенция – индикатор - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

Компетенция	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<b>СПК-3.С.</b> Способность планировать синтез металлических сплавов и композиционных материалов с определенными эксплуатационными характеристиками на основе информации о диаграммах состояния, применять на практике современные методы получения сплавов и композитов, прогнозировать их поведение при воздействии различных эксплуатационных факторов, применять различные способы защиты металлов и сплавов от коррозионных разрушений	<b>Знать:</b> Электрохимические механизмы коррозионных разрушений; общие закономерности химической и электрохимической коррозии <b>Уметь:</b> Подбирать способы защиты металлов и сплавов от коррозионных разрушений путем модифицирования их состава и структуры, применения специальных методов обработки поверхности, а также электрохимических методов защиты от коррозии.

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины составляет **3** зачетных единицы, всего **108** часов, из которых **62** часа составляет контактная работа студента с преподавателем (**28** часов занятия лекционного типа, **24** часа занятия семинарского типа, **4** часа – текущий контроль успеваемости, **2** часа – групповые консультации, **4** часа – промежуточный контроль успеваемости), 46 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Обучающийся должен

**Знать:** общие положения, законы и теории неорганической химии, физической химии и физико-химического анализа.

**Уметь:** применять расчетные методы для решения химических задач.

**Владеть:** навыками использования базовых физико-химических знаний, а также математического аппарата для решения химических проблем.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам\* (Перечень тем см. Приложения).

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов, п.п.	Всего
Раздел 1.	<b>8</b>	4	4				<b>8</b>			<b>0</b>
Раздел 2.	<b>20</b>	6	4			2	<b>12</b>		6	<b>6</b>
Раздел 3.	<b>8</b>	4	4							
Раздел 4.	<b>10</b>	2	2				<b>4</b>			
Раздел 5.	<b>12</b>	6	4			2	<b>12</b>	2		<b>2</b>
Раздел 6.	<b>20</b>	6	6				<b>12</b>		6	<b>6</b>
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>	<b>36</b>			2		4	<b>6</b>	32		<b>32</b>
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>28</b>	<b>24</b>	<b>2</b>		<b>8</b>	<b>62</b>	32	16	<b>46</b>

Содержание тем:

## Раздел 1.

**Тема 1. Природа и значение коррозионных процессов.** Актуальность коррозионных проблем в современном мире. Различные виды коррозионного разрушения металлов и сплавов. Используемая терминология. Особенности протекания коррозионных процессов на различных границах раздела фаз (газовая, атмосферная, подземная и другие виды коррозии, процессы на границе металл-электролит). Понятие о химическом и электрохимическом механизме коррозии.

**Тема 1.2. Электрохимическое равновесие на границе раздела фаз.** Применение термодинамических методов для количественной оценки склонности металлов и сплавов к взаимодействию с окружающей средой. Причины возникновения скачка потенциала на границе раздела металлов с электролитами и формирование двойного электрического слоя. Установление электрохимического равновесия. Принцип работы электродов сравнения. Идеально поляризуемые и неполяризуемые электроды, методы изучения строения двойного электрического слоя.

## Раздел 2.

**Тема 2.1. Электродные реакции, сопряженные электродные процессы.** Равномерная коррозия, основные механизмы электрохимических реакций. Стадии, определяющие скорость электродного процесса (стадия переноса электрона, массоперенос электроактивного компонента, формирование новой фазы и др.), смешанная кинетика. Последовательные, параллельные и сопряженные реакции. Измерение и анализ поляризационных кривых, Тафелевские зависимости.

**Тема 2.2. Закономерности протекания реакций выделения водорода и восстановления кислорода – сопряженных реакций в коррозионных процессах.** Анализ влияния природы металла, состава электролита, температуры и др. факторов на кинетику и механизм катодных реакций выделения водорода и восстановления кислорода.

**Тема 2.3. Закономерности коррозионных процессов в кислых, нейтральных и щелочных средах.** Анализ влияния кислотно-основных свойств растворов электролитов на протекание коррозионных процессов (конкретные примеры). Зависимость потенциала коррозии от pH растворов.

**Тема 2.4. Пассивное состояние металлов.** Термодинамические и кинетические факторы, обуславливающие переход металлов от состояния активного растворения к пассивному состоянию. Состав и структура пассивирующих пленок на поверхности металлов. Кинетика и механизмы их формирования. Теории «сильных» и «слабых» полей, диффузионный механизм, теория точечных дефектов Макдональда и др. Электрохимические и электрофизические методы изучения кинетики формирования, состава, структуры, морфологии и защитных свойств пассивирующих пленок.

## Раздел 3.

**Тема 3.1. Адсорбция органических соединений на электродах.** Методы исследования адсорбции органических веществ, ее влияние на строение границы раздела электрод-раствор. Основные модели, используемые для расчета степени заполнения поверхности органическими веществами. Изотермы адсорбции органических соединений (вириальная изотерма, изотермы Фрумкина, Темкина и др.), методы расчета параметров изотерм из экспериментальных данных. Ингибиторы коррозии. Теоретические основы подбора ингибиторов коррозии для металлов и сплавов, эксплуатирующихся в конкретных условиях.

**Тема 3.2. Методы защиты от коррозии.** Защита от коррозии с использованием различных покрытий или модификации поверхности металлов (ингибиторная защита, изолирующие покрытия, защитные слои неорганических веществ, пассивирующие пленки и т.д.). Активные методы защиты от коррозии (катодная и анодная защита, защита с использованием «жертвенных» анодов).

#### Раздел 4.

**Тема 4.1. Локальные виды коррозии.** Классификация видов локальной коррозии металлов и характерные условия реализации конкретных видов такой коррозии. Питтинговая коррозия, основные механизмы влияния коррозионно-активных анионов на локальные разрушения пассивирующих пленок, методы определения потенциала питтингообразования. Межкристаллитная, щелевая и другие виды локальной коррозии. Теоретические подходы к разработке методов защиты от локальных коррозионных разрушений.

#### Раздел 5.

**Тема 5.1. Контроль коррозии.** Анализ результатов весовых потерь при коррозии. Поляризационные измерения. Импедансометрия. Теоретические основы независимых методов определения скорости коррозии металлов и сплавов. Конкретный анализ результатов корректного и некорректного расчета скорости коррозии из экспериментальных данных, полученных разными методами.

**Тема 5.2.** Электрохимические принципы (поляризационные кривые вблизи потенциала коррозии, импеданс в широкой области частот переменного тока), лежащие в основе приборов для постоянного контроля (мониторов) скорости коррозии металлов и сплавов. Конструкционные особенности коррозионных мониторов.

#### Раздел 6.

**Тема 6.1. Коррозионностойкие сплавы на основе железа.** Коррозионные и электрохимические свойства железа. Коррозия железа в различных электролитах. Влияние металлургических факторов на коррозию железа и сталей. Классификация железных сплавов по составу. Основные легирующие компоненты. Структурные составляющие. Характер превращений. Сплавы железо – хром. Хромистые стали. Хромоникелевые аустенитные стали. Легированные хромоникелевые стали. Коррозионностойкие чугуны.

**Тема 6.2. Электрохимические и коррозионные характеристики меди, никеля, кобальта и их сплавов.** Электрохимические и коррозионные характеристики меди и ее сплавов. Коррозионное растрескивание латуни. Обесцинкование латуни. Газовая коррозия меди и ее сплавов. Коррозионные характеристики никеля. Сплавы никель – медь, никель – молибден, и никель – хром – кремний. Кобальт и его сплавы.

**Тема 6.3. Электрохимические и коррозионные характеристики алюминия, магния, бериллия и сплавов на их основе.** Коррозия под напряжением. Щелевая коррозия. Электрохимическое окисление. Коррозия сплавов. Селективное растворение. Методы электрохимической защиты.

**Тема 6.4. Электрохимические и коррозионные характеристики свинца, олова, цинка, хрома и марганца.**

**Тема 6.5. Вентильные металлы.** Механизмы формирования пассивных пленок. Коррозионные и электрохимические свойства титана, алюминия, тантала, ниобия, ванадия, вольфрама. Кинетика и механизм формирования пассивных пленок на вентильных металлах.

**Тема 6.6. Электрохимические и коррозионные характеристики благородных металлов: серебра, золота, платины и палладия.** Метод кривых заряжения на платине. Кинетика окисления органических соединений на платине. Катализаторы. Сенсорные элементы.

#### 6. Образовательные технологии

Лекции: лекции-визуализации с использованием компьютерной анимации; лекции проблемного характера.

Семинары: дискуссии, круглые столы, элементы технологий «Мозговой штурм» и «Критическое мышление», выполнение контрольных и мини-контрольных работ, защита рефератов.

7. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Студентам предоставляется программа курса, план занятий и перечень заданий для самостоятельной работы. По каждой теме указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы, а также из интернет-ресурсов. Дополнительные материалы и руководства к выполнению конкретных заданий размещаются на сайте кафедры общей химии: [www.chem.msu.ru/rus/teaching/general-spec.html](http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/general-spec.html)

8. Ресурсное обеспечение

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

#### **Основная литература**

1. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия, материаловедение. М. Физматлит. 2002. 335 с.
2. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. *Химия, КолосС Москва*. 2006. 670 с.
3. Ф. Миомандр, С.Садки, П.Одебер, Р. Меалле-Рено. Электрохимия. М.: Техносфера. 2008. 359 с.
4. Э. Маттссон. Электрохимическая коррозия. М. Металлургия. 1991. 157 с.
5. Г. Кеше. Коррозия металлов. М. Металлургия. 1984. 400 с.

#### **Дополнительная литература**

1. У. Цвиккер. Титан и его сплавы. М. Металлургия. 1979. 511 с.
2. Шалдаев В.С., Малофеева А.Н., Давыдов А.Д. Влияние вращения электрода на питтинговое нарушение пассивности металла в растворе хлорида натрия. *Электрохимия*. Т. 48, № 11. 2012. С. 1139.
3. Сафонов В.А. Импедансная спектроскопия для изучения и мониторинга коррозионных явлений. *Электрохимия*. Т. 29, № 1. 1993. с. 152-160.
4. И.Г. Родионова, А.И. Зайцев, О.Н. Бакланова, А.В. Голованов, Н.И. Эндель, Э.Т. Шаповалов, Г.В. Семернин. Современные подходы к повышению коррозионной стойкости и эксплуатационной надежности сталей для нефтепромысловых трубопроводов. М. Металлургиздат. 2012. 172 с.

#### **Периодическая литература**

Журнал Corrosion Science > <http://www.journals.elsevier.com/corrosion-science/>  
Журнал Electrochimica Acta > <http://www.journals.elsevier.com/electrochimica-acta/>  
Журнал Electrochemistry Communications > <http://www.journals.elsevier.com/electrochemistry-communications/>

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

Сайт журнала Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces <http://rd.springer.com/journal/11124>

Сайт журнала Russian Journal of Electrochemistry <http://rd.springer.com/journal/11175>

- **Описание материально-технической базы.**

Занятия проводятся в аудиториях химического факультета МГУ, оборудованных мультимедийными проекторами, персональными компьютерами, экранами. Самостоятельная работа студентов обеспечивается доступом к учебной литературе, сети «Интернет» и компьютерным базам данных.

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели:

д.х.н., профессор, Сафонов Виктор Алексеевич, 8(495)939-53-75

к.х.н., доцент, Фишгойт Лариса Александровна, fishgoit@rambler.ru, 8(495)939-35-94.

### **Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения**

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - экзамена. На экзамене проверяется достижение ЗУВ, перечисленных в п.2.

#### **Примерный список экзаменационных вопросов:**

1. Основные показатели ущерба, наносимого коррозией. Виды коррозионных потерь. К какому типу процесса – гомогенному или гетерогенному – относится коррозия? Химическая и электрохимическая коррозия (определения) Основные виды коррозии. Классификация процесса коррозии по типу разрушений.
2. Питтинговая коррозия. Механизм. Условия возникновения.
3. Основные показатели коррозионного процесса. Условия протекания газовой коррозии. Жаростойкость и жаропрочность металла. Приведите определения химического механизма коррозии. При каких условиях он реализуется в газовой фазе?
4. Приведите схему строения слоя хемосорбированного кислорода на металле, а также схему строения оксида. Объясните процессы, происходящие на границе металл – газовая среда.
5. Дефекты кристаллических решеток и их влияние на коррозионные процессы, происходящие в металлах и сплавах.
6. Влияние парциального давления кислорода на возможность протекания реакции окисления металла. Механизм образования оксидной пленки на металле в газовой фазе.
7. Термодинамическая функция, описывающая вероятность перехода металла в ионное состояние. Основные стадии газовой кор-



розии металлов.

8. Условие сплошности. Механизм образования пористой пленки на поверхности металла и сплава в газовой фазе.
9. Адсорбция газов на поверхности металла (сплава). Изотермы адсорбции. Уравнения адсорбции. Сравнительный анализ изотермы адсорбции кислорода и изотермы Ленгмюра. Теория Брунауэра.
10. Свойства поверхностных пленок на металле. Показатели защитных свойств пленок. Кинетические законы роста пленок. Состав и свойства оксидных пленок на железе. Сходства и различия в диффузионных механизмах образования оксидных пленок ZnO и Cu<sub>2</sub>O.
11. Диффузия ионов в поверхностной пленке. Закономерности газовой коррозии.
12. Теории жаростойкого легирования.
13. Электрохимическая коррозия. Физико – химические явления на границе металл – электролит. Электродные реакции. Характеристики электрохимического коррозионного процесса.
14. Сопряженные электродные реакции. Водородный и кислородный электродные потенциалы. Уравнение Нернста. Трехэлектродная схема.
15. Строение двойного электрического слоя. Модели двойного электрического слоя. Скачок потенциала на границе металл – раствор. Влияние двойного электрического слоя на кинетику электродных процессов.
16. термодинамика электродных процессов. Термодинамические условия протекания коррозионных процессов. Диаграммы Пурбе (на примерах Zn – H<sub>2</sub>O, Cr – H<sub>2</sub>O).
17. Основные закономерности электрохимической кинетики. Концентрационная поляризация и предельный диффузионный ток. Скорость лимитирующая стадия процесса. Массоперенос под действием диффузии и электрического поля.
18. Электродные реакции с замедленной стадией разряд – ионизация. Уравнение Тафеля. Графическое определение потенциала и тока коррозии. Протект – эффект. Теория микроэлементов.
19. Основные характеристики коррозионного процесса. Сопряженные реакции. Коррозионные процессы с водородной и кислородной деполяризацией. Поляризационные кривые цинка в серной кислоте. Теория Колотыркина.
20. Анодная реакция ионизации металлов. Закономерности растворения металлов в активном состоянии. Зависимость скорости растворения от приложенного потенциала (на примере железа в серной кислоте).
21. Коррозионный контроль. Построение коррозионных диаграмм. Механизмы анодного растворения металлов Мюллера – Томашова и Лосева.
22. Пассивация металлов. Причины возникновения пассивности. Способы перевода металла в пассивное состояние. Аномальные явления при растворении металлов.
23. Железо и его сплавы в современной технике. Коррозионные и электрохимические свойства железа. Коррозия железа в различных электролитах.
24. Влияние металлургических факторов на коррозию железа и сталей. Классификация сплавов на основе железа по составу. Основные легирующие компоненты. Структурные составляющие. Характер превращений.
25. Сплавы железо – хром. Хромистые стали. Хромоникелевые аустенитные стали. Легированные хромоникелевые стали. Коррозионностойкие

чугуны.

26. Электрохимические и коррозионные характеристики меди и ее сплавов. Коррозионное растрескивание латуни. Обесцинкование латуни. Газовая коррозия меди и ее сплавов.
27. Коррозионные характеристики никеля. Сплавы никель – медь, никель – молибден, и никель – хром – кремний.
28. Электрохимические и коррозионные характеристики кобальта и его сплавов.
29. Электрохимические и коррозионные характеристики алюминия и его сплавов.
30. Электрохимические и коррозионные характеристики магния, бериллия и сплавов на их основе.
31. Электрохимические и коррозионные характеристики свинца, олова, цинка.
32. Электрохимические и коррозионные характеристики хрома и марганца.
33. Вентильные металлы. Кинетика и механизм формирования пассивных пленок на вентильных металлах.
34. Коррозионные и электрохимические свойства вентильных металлов ( на примере тантала и ниобия).
35. Благородные металлы. Метод кривых заряжения на платине. Коррозионные свойства благородных металлов (на примере платины и палладия).

#### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков приведена в таблице ниже

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Обрывочные знания или их отсутствие	В целом систематические, но неглубокие знания со значительными пробелами	Систематические, общие, но недостаточно структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отдельные умения или их отсутствие	В целом систематическое, но ограниченное умение, успешное только в простейших ситуациях	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отдельные навыки или их отсутствие	Шаблонные навыки, пригодные лишь для решения простейших задач	В целом сформированные навыки, но не все в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении различных задач

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ
<b>Знать:</b> Электрохимические механизмы коррозионных разрушений; общие закономерности химической и электрохимической коррозии.	мероприятия текущего контроля успеваемости, проверка рефератов, устный опрос на экзамене
<b>Уметь:</b> Подбирать способы защиты металлов и сплавов от коррозионных разрушений путем модифицирования их состава и структуры, применения специальных методов обработки поверхности, а также электрохимических методов защиты от коррозии.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене, выполнение ПКЗ на экзамене