

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр проблем химической физики
и медицинской химии Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора ФИЦ ПХФ и МХ РАН



/ Казакова А.В. /

« июня 20 23 г.

Дополнительная профессиональная образовательная программа
профессиональной переподготовки
«Водородная и электрохимическая энергетика: от материалов до
устройств»

форма обучения очная

2023 г.

Аннотация программы

Дополнительная профессиональная образовательная программа предназначена для повышения квалификации и (или) профессиональной переподготовки специалистов по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам, специалистов по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, специалистов по компьютерному проектированию технологических процессов, специалистов по испытаниям инновационной продукции наноиндустрии, специалистов в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области материаловедения и технологии материалов, специалистов в области технологического обеспечения полного цикла производства объемных нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них, специалистов по проектированию изделий из наноструктурированных композиционных материалов, специалистов по технологии в области производства продукции с применением наноструктурированных катализаторов и инженерно-технических работников предприятий электрохимических производств с целью приобретения ими профессиональных компетенций в области водородной электрохимической энергетики и цифрового моделирования функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков современных электролизных модулей получения водорода и топливных элементов

Квалификация выпускника уровень 5 национальной рамки квалификаций
Уровень квалификации в соответствии с профессиональным стандартом – 5.

Осваиваемый вид профессиональной деятельности – в соответствии с профессиональным стандартом, осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований, осуществление выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок, подготовка элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ в области водородной электрохимической энергетики и цифрового моделирования функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков современных электролизных модулей получения водорода и топливных элементов

Авторы:

Золотухина Екатерина Викторовна, доктор хим. наук, главный научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Левченко Алексей Владимирович, кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Герасимова Екатерина Владимировна, кандидат хим. наук, старший научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Лысков Николай Викторович, кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник
ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Правообладатель программы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, 142432, г. Черноголовка, проспект академика Семенова, д.1, www.icp.ac.ru, 8(49652)21602

Нормативный срок освоения программы 250 часов при очной форме обучения.
Реализации программы возможна с применением дистанционных образовательных технологий.

Программа является инвариантной для профессиональной переподготовки и предусматривает возможность выбора модулей для освоения (повышения квалификации), в том числе, обучающимися по программам магистратуры, связанным с водородной и электрохимической энергетикой.

Содержание

1. Общие положения	5
1.1. Требования к поступающим	7
1.2. Нормативный срок освоения программы	7
1.3. Квалификационная характеристика выпускника	7
2. Характеристика подготовки	8
2.1. Общая характеристика подготовки	8
2.2. Образовательные результаты и структура программы	8
2.3. Пояснительная записка	10
3. Учебный план	15
4. Оценка качества освоения образовательной программы дополнительного профессионального образования	19
Приложение 1. Оценочные средства входного контроля	20
Приложение 2. Программа программного модуля «Теория и практика получения водорода электролизным способом»	25
Приложение 2.1-2.4. Оценочные средства	43
Приложение 2.5. Учебные материалы	76
Приложение 2.6. Методические материалы	77
Приложение 3. Программа программного модуля «ПО COMSOL Multiphysics для построения цифровых моделей функциональных элементов твердотельных электрохимических устройств»	80
Приложение 3.1. Оценочные средства	94
Приложение 3.2. Учебные материалы	105
Приложение 3.3. Методические материалы	106
Приложение 4. Программа программного модуля «Теория и практика топливных элементов и электрохимических генераторов на их основе»	110
Приложение 4.1. Оценочные средства	127
Приложение 4.2. Учебные материалы	140
Приложение 4.3. Методические материалы	141
Приложение 5. Управление образовательной программой	142
Приложение 6. Учебные материалы к программному модулю «Теория и практика получения водорода электролизным способом» (<i>электронный ресурс</i>)	
Приложение 7. Учебные материалы к программному модулю «ПО COMSOL Multiphysics для построения цифровых моделей функциональных элементов твердотельных электрохимических устройств» (<i>электронный ресурс</i>)	
Приложение 8. Учебные материалы к программному модулю «Теория и практика топливных элементов и электрохимических генераторов на их основе» (<i>электронный ресурс</i>)	

1. Общие положения

Нормативную правовую основу разработки дополнительной профессиональной образовательной программы (далее – программа) составляют:

– Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;

– Приказ Минобрнауки России от 01 июля 2013 г. № 499 (ред. От 15.11.2013 г.) «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам» (Зарегистрировано в Минюсте России 20 августа 2013 г. № 29444);

– Приказ Минобрнауки России от 12 сентября 2013 г. № 1061 «Об утверждении перечней специальностей и направлений подготовки высшего образования» (с изменениями на 30 августа 2019 года);

– Приказ Минобрнауки России от 17 июля 2017 г. № 670 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - магистратура по направлению подготовки 04.04.02. «Химия, физика и механика материалов»;

– Профессиональный стандарт 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам

Термины, определения и используемые сокращения

В программе используются следующие термины и их определения:

Виды профессиональной деятельности (ВПД) – составная часть области профессиональной деятельности, образованная целостным набором трудовых функций, каждая из которых обладает относительной автономностью и определена работодателем как необходимый компонент содержания образовательной программы профессиональной переподготовки.

Знание – информация о свойствах объектов, закономерностях процессов и явлений, правилах использования этой информации для принятия решений, присвоенная обучающимся на одном из уровней, позволяющих выполнять над ней мыслительные операции.

Междисциплинарный курс (МДК) – часть образовательной программы дополнительного профессионального образования или программы профессионального модуля, предназначенная для формирования знаний и умений, объединенных по прагматическим основаниям с нарушением академических границ отраслей знаний.

Модуль – совокупность частей учебной дисциплины (курсов), имеющая определенную логическую завершенность по отношению к установленным целям и результатам воспитания, обучения.

Оценочные средства – дидактические средства для оценки качества подготовленности обучающихся.

Опыт практической деятельности (ОПД) – образовательный результат, включающий выполнение обучающимся деятельности, завершающейся получением

результата/продукта, значимого при выполнении трудовой функции, в условиях реального производства или в модельной ситуации, которая воспроизводит значимые условия реального производства.

Профессиональная компетенция (ПК) – интегрированный результат образования, готовность применять знания, умения и практический опыт для успешной деятельности в процессе выполнения определенной трудовой функции.

Профессиональный модуль (ПМ) – часть образовательной программы дополнительного профессионального образования, предназначенная для формирования определенных профессиональных компетенций в рамках того или иного вида профессиональной деятельности.

Рабочая программа – нормативный документ, регламентирующий взаимодействие преподавателя и обучающихся в ходе учебно-воспитательного процесса.

Умение – освоенный субъектом способ выполнения действия, обеспечиваемый совокупностью приобретенных знаний и навыков; операция (действие), выполняемая определенным способом и с определенным качеством.

Учебная дисциплина (УД) – часть образовательной программы дополнительного профессионального образования, предназначенная для формирования знаний и умений в соответствующей сфере профессиональной деятельности.

Фонды оценочных средств (ФОС) – совокупность оценочных средств, используемых на различных этапах педагогической диагностики.

1.1. Требования к поступающим

Лица, поступающие на обучение, должны иметь документ о получении высшего образования уровня бакалавра, специалиста или магистра в области химии, физики или инженерных технологий, в области электрохимических производств, материаловедения и наноматериалов и иметь следующие знания и умения:

- Ориентируется в строении вещества, понимает механизм химических процессов
- Знает законы электрофизики, уравнения идеального газа, единицы измерения электрофизических величин
- Знает свойства полного дифференциала, подходы к решению дифференциальных и интегральных уравнений
- Умеет рассчитывать рН, мольно-массовые характеристики, концентрацию в смеси

Для проверки необходимых для освоения знаний и умений разработан ФОС (Приложение 1).

1.2. Нормативный срок освоения программы

Нормативный срок освоения программы при очной форме подготовки составляет:

- 66, 90 или 62 часа для траектории повышения квалификации в соответствии с освоенным профессиональным модулем (ПМ 01, 02 или 03 соответственно).
- 250 часов для траектории профессиональной переподготовки.

Программа является инвариантной для профессиональной переподготовки и предусматривает возможность выбора модулей для освоения (повышения квалификации), в том числе, обучающимися по программам магистратуры, связанным с водородной и электрохимической энергетикой.

1.3. Квалификационная характеристика выпускника

Выпускник должен быть готов к профессиональной деятельности в области водородной электрохимической энергетике и/или цифрового моделирования функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков современных электролизных модулей получения водорода и топливных элементов в качестве специалиста по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам, повысить квалификацию в качестве специалиста по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, специалиста по компьютерному проектированию технологических процессов, специалиста по испытаниям инновационной продукции наноиндустрии, специалиста в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области материаловедения и технологии материалов, специалиста в области технологического обеспечения полного цикла производства объемных

нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них, специалиста по проектированию изделий из наноструктурированных композиционных материалов, специалиста по технологии в области производства продукции с применением наноструктурированных катализаторов.

Квалификационный уровень по национальной рамке квалификаций: 5.

2. Характеристика подготовки

2.1. Общая характеристика подготовки

Программа представляет собой комплекс нормативно-методической документации, регламентирующей содержание, организацию и оценку результатов. Основная цель обучения по программе – прошедший обучение и итоговую аттестацию должен быть готов к профессиональной деятельности в качестве специалиста по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам в области водородной электрохимической энергетики и цифрового моделирования мембранно-электродных блоков электролизеров, включая осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований, осуществление выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок, подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ в области водородной электрохимической энергетики и/или цифрового моделирования функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков современных электролизных модулей получения водорода и топливных элементов, а именно:

- проведение предпроектных подготовительных работ,
- анализ и выбор материалов, устройств преобразования энергии,
- проведение тестирования различных устройств преобразования энергии с учетом требований по безопасности,
- оценку возможности использования устройств в составе электрохимических генераторов (ЭХГ) и типов установок для их интеграции в ЭХГ,
- построение и исследование цифровой модели структуры функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков электролизеров,
- обеспечение этапов работ по цифровому моделированию структуры функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков электролизеров
- презентацию результата исследовательской задачи, его актуальности и коммерческой привлекательности.

2.2. Образовательные результаты и структура программы

Обучение по программе предполагает освоение следующего ВПД специалиста по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам: цифровое моделирование функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков электролизеров и соответствующих профессиональных компетенций, зафиксированных в таблице 1.

Обучение по программе предполагает получение образовательных результатов, зафиксированных в таблице 1, в процессе изучения перечисленных профессиональных модулей.

Результаты и структура программы

Код	Формулировка образовательного результата	Структурная единица
ПК 1.1	Формировать исходную базу данных для цифровых расчетов мембранно-электродных блоков электролизеров, включающую систему исходных параметров, свойства используемых материалов, характеристики мембранно-электродных блоков, предварительные термодинамические расчеты	ПМ 01 Теория и практика получения водорода электролизным способом инвариантный
ПК 1.2	Формировать техническое задание на моделирование мембранно-электродных блоков электролизера	
ПК 2.1	Разрабатывать цифровые модели мембранно-электродных блоков электролизеров и оценивать их расчетную способность, исследовать модель и изменять расчетные параметры для обеспечения требований технического задания	ПМ 02 Цифровое моделирование мембранно-электродного блока электролизера в COMSOL Multiphysics инвариантный
ПК 2.2	Составлять практические рекомендации к техзаданию на изготовление мембранно-электродных блоков электролизеров по результатам моделирования	
ПК 3	Подбирать состав, строение и тип топливных элементов для интегрирования в электрохимические генераторы, подбирать и проводить тестирование нужных характеристик	ПМ 03 Теория и практика топливных элементов и электрохимических генераторов на их основе

Промежуточные результаты программы достигаются в рамках освоения следующих учебных дисциплин, междисциплинарных курсов: МДК 01.01 Основные вопросы физической химии и электрохимии, МДК 01.02 Водород и его получение электролизным способом, МДК 01.03 Устройство современных электролизеров для производства водорода и использование электролизного водорода, МДК 02.01 ПО COMSOL Multiphysics для построения цифровых моделей функциональных элементов твердотельных электрохимических устройств, МДК 02.02 Оформление проектного решения.

2.3. Пояснительная записка

Концепция развития водородной энергетики в РФ, согласно распоряжению Правительства РФ № 2162-р от 05.08.2021, указывает в качестве одного из перспективных направлений развитие технологий применения водородных энергоносителей в различных секторах экономики. Одной из актуальных задач в этой сфере является получение чистого водорода, способного служить топливом для электрохимических генераторов на основе топливных элементов. Наиболее подходящим по характеристикам является водород, получаемый в электролизерах. Причем, из известных типов электролизеров (щелочные, твердополимерные, твердооксидные) наибольший интерес вызывают твердополимерные электролизеры из-за простоты управления и организации, надежности, высоких выходов и качества продукта и т.п. Стремительное развитие технологического потенциала в этой передовой области требует быстрой подготовки и переподготовки кадров для предприятий, заинтересованных в коммерциализации новых технологических решений (Росатом, Камаз, Инэнерджи, Газпром, Лукойл и другие). В то же время, в России разработкой электролизного производства водорода различных типов и топливных элементов различных типов занимается небольшое число компаний, согласно данным Минпромторга (ООО «ЦветХром», ООО «Гидрогениус», ООО «Поликом», ООО «НПП «Радуга-15», ФГБУ НИЦ «Курчатовский Институт», ООО ПИМКВТ «Русский Водород», ООО «Гидрогенион», ООО «НПО «Центротех», ООО «ИФТИ», АО «СКТБЭ», АО «Силовые машины», ООО «Адсорбционные Газовые Системы», ООО «Химэнерго», ФГБУН ИВТЭ УрО РАН, ФГБУН Институт физики твёрдого тела РАН, ООО «КриоМАСБЗКМ», ФГБУН ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ООО «НПО «Центротех», ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»).

Удовлетворить растущий спрос возможно путем разработки и реализации программ дополнительного профессионального образования, включающих как переподготовку уже работающих на предприятиях и в образовательных организациях специалистов, а также молодых специалистов, получивших высшее образование, так и повышение их квалификации. При этом следует учитывать, что расход дорогостоящих в основном импортных материалов, являющихся функциональными элементами электролизного твердополимерного или твердооксидного модуля (электроды, мембрана, проточные поля биполярных пластин), а также аналогичных топливных элементов, для создания действующей модели электролизера или топливного элемента с заданными характеристиками может оказаться большим, что экономически нецелесообразно. Поэтому акцент на подбор оптимального состава и материалов электродов таких устройств, геометрии проточных каналов, необходимо смещать в сторону цифрового моделирования с последующей проверкой на практике рассчитанных моделей.

В свете выше сказанного, целью разрабатываемой программы дополнительного профессионального образования «Современные технологии и оборудование: Цифровое моделирование функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков электролизеров» является приобретение

обучающимися компетенций по проектированию электролизных модулей получения водорода или топливных элементов, работающих на водородном топливе, а именно, моделированию процессов на электродах в зависимости от их состава, моделированию структурных элементов этих устройств, умений исследовать построенную цифровую модель и соотносить результаты практической реализации с результатами моделирования, умение проводить тестовые испытания готовых устройств, создавать и тестировать ЭХГ на их основе.

Для программы профессиональной переподготовки предлагаемые в программе модули являются инвариантными. При повышении квалификации или выборе модулей программы в рамках подготовки по программам магистратуры в области водородной и электрохимической энергетики обучающийся по программе в зависимости от его базовых знаний и квалификации может пройти один или два модуля из предлагаемых программой на выбор. В ПМ 01 входят общие вопросы физической химии и электрохимии электродных процессов и материалов, используемых в электролизерах и ХИТ, свойствах и методах получения и применения водорода, углубленные знания о типах и устройстве электролизных модулей, основных системах и ключевых словах для поиска параметров их работы и параметров моделей, которые используются для описания их работы. ПМ 02 посвящен знакомству с функционалом COMSOL Multiphysics, алгоритмами построения моделей и практическому освоению моделирования мембранно-электродных блоков в этой программе. В рамках этого модуля приобретаются основные практические навыки по цифровому моделированию, расчетам экономической целесообразности использования тех или иных материалов и решений, правилам оформления полученных решений в форме презентации. Закреплению полученных знаний на практике и решению актуальных для обучающихся поисковых задач служит практика, состоящая в самостоятельном построении расчетной модели, ее проверке и получению характеристик, которые можно сопоставить с экспериментом. ПМ 03 посвящен знакомству с устройством, материалами, принципами работы, тестирования, интеграции в ЭХГ твердополимерных и твердооксидных топливных элементов на водородном топливе как в ходе теоретических, так и практических занятий. Таким образом, каждый обучающийся, повышающий квалификацию, может выбрать подходящий под его потребность, индивидуальные особенности и квалификацию модуль для освоения. Для программы профессиональной переподготовки необходимо пройти оба модуля с защитой НИР.

В целом, программа дает возможность приобрести нужные теоретические и практические знания, необходимые для реализации научно-исследовательской работы по тестированию и сборке ЭХГ и цифровому моделированию функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков электролизеров и топливных элементов, закрепить их практическими работами и провести научно-исследовательскую поисковую работу. Каждый модуль подразумевает контроль полученных знаний и умений, который осуществляется в

тестовой форме, ОПД, в форме практического задания, и программа завершается итоговым экзаменом, вариантом которого является защита проекта.

В качестве основных образовательных технологий используются технологии концентрированного (основная технология для ДПО) и активного (организация проектного обучения с распределением ролей обучающихся) обучения. Программа предполагает также включение элементов технологии проблемного обучения (НИР), модульного обучения (для усиления индивидуальной образовательной траектории) и дифференцированного обучения (для усиления индивидуальной траектории обучения).

Такой набор используемых образовательных технологий обоснован необходимостью в сжатые сроки провести повышение квалификации/переквалификацию специалистов в области цифрового моделирования конкретного типа материалов и изделий, сохраняя возможность выбора наиболее подходящих их индивидуальному развитию активностей, расширить имеющиеся профессиональные компетенции.

Технология процесса обучения по Программе включает в себя следующие образовательные мероприятия/формы:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа слушателей;
- в) контрольные мероприятия в процессе обучения;
- г) экзамен
- д) зачет
- е) практика
- ж) защита выпускной квалификационной \ аттестационной работы.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения. Аудиторные занятия строятся таким образом, чтобы их можно было перенести в электронный учебный курс, который можно осваивать самостоятельно. Каждое занятие включает дискуссионное обсуждение вопросов, подготовленных преподавателем или высказанных обучающимися.

Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками, видеороликами, пояснительным текстом. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия. Электронная презентация и видеоролики позволяют отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологиями проблемного и активного обучения, подразумевает выбор индивидуальной образовательной траектории и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач (решение кейсовых заданий), выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;

- поисковая работа в коллекциях и базах научно-технической литературы: поиск научно-технической информации в открытых источниках;
- самостоятельная проработка этапов моделирования от построения модели до проверки ее на сходимость;
- оформление отчетных и презентационных материалов, а также подготовка научного доклада по результатам выполнения НИР.

3. УЧЕБНЫЙ ПЛАН
дополнительной профессиональной образовательной программы
(повышения квалификации, профессиональной переподготовки)
Водородная и электрохимическая энергетика: от материалов до устройств

Форма обучения – очная
Нормативный срок обучения – 250 часов

Индекс	Элементы учебного процесса, в т.ч. учебные дисциплины, профессиональные модули, междисциплинарные курсы	Всего часов	Обязательная аудиторная учебная нагрузка		Самостоятельная работа, часов	Практики, стажировки, часов
			всего, часов	в т.ч. практические занятия, часов		
1	2	3	4	5	6	7
Профессиональный цикл						
ПМ.00	Профессиональные модули					
ПМ 01	Теория и практика получения водорода электролизным способом	66	36	8	26	4
МДК 01.01	Основные вопросы физической химии и электрохимии	30	20	6	10	0
МДК 01.02	Водород и его получение электролизным способом	8	8	2	0	0
МДК 01.03	Устройство современных электролизеров для производства водорода и использование электролизного водорода	20	8	0	12	0
ПП 01	Практика	8	0	0	4	4

1	2	3	4	5	6	7
ПМ 02	Цифровое моделирование мембранно-электродного блока электролизера в COMSOL Multiphysics	90	16	12	58	16
МДК 02.01	ПО COMSOL Multiphysics для построения цифровых моделей функциональных элементов твердотельных электрохимических устройств	24	12	8	12	0
МДК 02.02	Оформление проектного решения	8	4	4	4	0
ПП 02	Практика в модельной ситуации	58	0	0	42	16
ПМ 03	Теория и практика топливных элементов и электрохимических генераторов на их основе	62	30	2	16	16
МДК 03.01	Принципы работы и тестирования различных типов ХИТ, материаловедение устройств генерации и преобразования водорода	34	30	2	4	0
ПП 03	Практика в модельной ситуации	28	0	0	12	16
<i>Всего по учебным дисциплинам и профессиональным модулям</i>		218	82	16	100	36
Консультации		4				
Контроль		16	16			
Итоговая аттестация		12	2		10	
Итого		250				

КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК
дополнительной профессиональной образовательной программы
(повышения квалификации, профессиональной переподготовки)

Водородная и электрохимическая энергетика: от материалов до устройств

Форма обучения – очная
 Нормативный срок обучения – 250 часов

Индекс	Элементы учебного процесса	Сроки обучения (месяцы/недели)						
		1				2		
		1	2	3	4	5	6	7
ПМ 01	Теория и практика получения водорода электролизным способом							
МДК 01.01	Основные вопросы физической химии и электрохимии	30						
МДК 01.02	Водород и его получение электролизным способом	8						
МДК 01.03	Устройство современных электролизеров для производства водорода и использование электролизного водорода		20					
ПП 01			8					
ПМ 02	Цифровое моделирование мембранно-электродного блока электролизера в COMSOL Multiphysics							
МДК 02.01	ПО COMSOL Multiphysics для построения цифровых моделей функциональных элементов твердотельных электрохимических устройств		9	15				
МДК 02.02	Оформление проектного решения			8				
ПП 02				15	13	30		
ПМ 03	Теория и практика топливных элементов и электрохимических генераторов на их основе							
МДК 03.01	Принципы работы и тестирования различных типов ХИТ, материаловедение устройств генерации и преобразования водорода				25	9		
ПП 03							28	
	Консультации						4	
	Контроль	2	2	2	2		4	4
	Итоговая аттестация							12

	<i>Всего</i>	<i>159</i>	<i>91</i>
--	--------------	------------	-----------

4. Оценка качества освоения дополнительной профессиональной образовательной программы

Оценка качества освоения программы включает текущий, промежуточный контроль и итоговую аттестацию.

Текущий и промежуточный контроль и итоговая аттестация проводится образовательным учреждением по результатам освоения программ общепрофессиональных курсов и профессиональных модулей. Формы и условия проведения текущего и промежуточного контроля и итоговой аттестации доводятся до сведения обучающихся в начале обучения.

К итоговой аттестации допускаются лица, выполнившие требования, предусмотренные программой и успешно прошедшие все оценочные процедуры, предусмотренные программами общепрофессиональных курсов и профессиональных модулей. Аттестационной комиссией проводится оценка освоенных выпускниками профессиональных компетенций в соответствии с согласованными с работодателями критериями, утвержденными образовательным учреждением.

Лицам, прошедшим соответствующее обучение в полном объеме и аттестацию, образовательными учреждениями выдаются документы установленного образца.

Образцы оценочных средств для входного контроля знаний обучающихся

Спецификация

Знания, умения в соответствии с требованиями к квалификации, на соответствие которым проводится оценка квалификации	Критерии оценки квалификации		Тип и номер задания
	единица содержания	балл	
Ориентируется в строении вещества, понимает механизм химических процессов	Ориентируется в строении вещества	1	<u>Задание 1</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Понимает механизм окислительно-восстановительных процессов	1	<u>Задание 5</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Понимает механизм электролитической диссоциации	1	<u>Задание 4</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Понимает механизм переноса вещества	1	<u>Задание 7</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
Знает законы электрофизики, уравнения идеального газа, единицы измерения электрофизических величин	Знает законы электрофизики	1	<u>Задание 2</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает уравнения идеального газа	1	<u>Задание 3</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает единицы измерения электрофизических величин	1	<u>Задание 6</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
Знает свойства полного дифференциала, подходы к решению дифференциальных и интегральных уравнений	Знает свойства полного дифференциала	1	<u>Задание 8</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает подходы к решению дифференциальных уравнений	1	<u>Задание 9</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает подходы к решению интегральных уравнений	1	<u>Задание 10</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
Умеет рассчитывать pH, мольно-массовые характеристики, концентрацию в смеси	Умеет рассчитывать pH	1	<u>Задание 11</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Умеет рассчитывать мольно-массовые характеристики	1	<u>Задание 12</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Умеет рассчитывать концентрацию в смеси	1	<u>Задание 13</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов

Требования к процедуре оценки

Помещение:	Особых требований нет
Оборудование:	Персональный компьютер
Инструменты:	Google Chrome версия 106.0.5249.103 или выше, Калькулятор (встроенная программа)
Расходные материалы:	–
Доступ к дополнительным инструкциям и справочным материалам:	нет
Норма времени:	0.5 часа

Требования к кадровому обеспечению оценки

Оценщик (эксперт):	Высшее образование по естественно-научному профилю (химия, физика)
Ассистент:	Особых требований нет

Инструкция по подсчету баллов

Вывод эксперта о готовности испытуемого к обучению по программе курса делается на основании суммарного процента верных ответов (13 баллов – 100%) в следующей таблице.

Итоговая оценка		дата	эксперт
Процент правильных ответов	Отметка		
0-79	Не допущен к обучению		
80-100	Допущен к обучению		

Инструмент оценки

Инструкция: Откройте тестовое задание и выполняйте его последовательно, следуя инструкции каждого пункта задания. Выбор ответа является обязательным. После выбора ответа надо нажать кнопку «далее», после чего Вам будет показан индикатор, свидетельствующий о правильном или неправильном прохождении пункта. Для успешного прохождения тестового задания необходимо набрать 80% правильных ответов. Каждое задание оценивается в 1 балл. На прохождение тестового задания дается одна попытка.

Пример тестового задания:

1. Выберите верный ответ.

Молекула – это

- набор одинаковых или разных атомов, соединенных между собой в определенной последовательности
- мельчайшая физически неделимая частица вещества
- мельчайшая химически неделимая частица вещества**
- набор одинаковых или разных атомов, соединенных между собой в произвольной последовательности

Ключ выделен жирным

2. Выберите верный ответ.

При протекании постоянного тока силой I через проводник с сопротивлением R напряжение U на концах проводника будет определяться выражением

- $U = \frac{I}{R}$
- $U = \frac{R}{I}$
- $U = IR$
- $\frac{1}{U} = \frac{1}{I} + \frac{1}{R}$

Ключ выделен в рамку

3. Выберите верный ответ.

Уравнение идеального газа включает в себя давление p , объем V , температуру T и количество молей газа n в следующем соотношении:

- $pV = nRT$
- $p_1 \frac{V_1}{T_1} = p_2 \frac{V_2}{T_2}$
- $pT = n \frac{R}{V}$
- $TV = nRp$

Ключ выделен в рамку

4. Выберите верный ответ.

Электролитическая диссоциация – это

- распад вещества на ионы при растворении или расплавлении**
- распад вещества на ионы при прохождении электрического тока
- разрушение кристаллической решетки вещества при прохождении тока

Ключ выделен жирным

5. Выберите верный ответ.

Окисление — это процесс

- присоединения электронов к частице (атом, ион, молекула, комплекс и т. п.) с понижением ее степени окисления
- отрыва электронов от данной частицы с повышением ее степени окисления**
- отрыва электронов от данной частицы с понижением ее степени окисления
- присоединения электронов к частице с повышением ее степени окисления

Ключ выделен жирным

6. Единицей измерения напряжения в электрической цепи является...

Выберите правильный вариант ответа:

- Вольт, В**
- Ампер, А
- Ватт, Вт
- Ом
- Фарад, Ф

Ключ выделен жирным

7. Выберите все верные ответы.

Массоперенос в электрохимических цепях связан с переносом вещества под действием

- градиента концентрации (диффузия)**
- силы тяжести (гравитация, седиментация)
- электрического поля (миграция, электроосмос)**
- потока жидкости или газа (конвекция)**
- индуцированного магнитного поля

Ключ выделен жирным

8. Выберите верный ответ.

Дифференциалом функции $y = f(x)$ первого порядка называется часть её приращения $f'(x)\Delta x$, которую обозначают

- ∂y (или $\partial(f(x))$)
- dy (или $d(f(x))$)**

Ключ выделен жирным

9. Выберите верный ответ.

Дифференциал функции $\frac{d \ln T}{dT}$ равен

- $\frac{1}{T}$
- $\ln T$
- T

Ключ выделен в рамку

10. Выберите верный ответ.

Интеграл $\int_1^2 \frac{dT}{T} =$

- $\ln \frac{T_1}{T_2}$

- $\ln \frac{T_2}{T_1}$

- $T_2 - T_1$

Ключ выделен в рамку

11. Выберите верный ответ.

Показатель кислотности среды (рН) 0.1М раствора хлорной кислоты равен

- 0
- 1**
- 4
- 10

Ключ выделен жирным

12. Выберите верный ответ.

Какую массу в граммах имеет молекулярный кислород в количестве 0.1 моль?

- 1.6
- 1.8
- 3.2**
- 16
- 18
- 32

Ключ выделен жирным

13. Выберите верный ответ.

Какова молярная концентрация кислорода, в моль/л, в газовой смеси, содержащей 1 л кислорода, 4 л азота при н.у.?

- 0.009**
- 0.20
- 0.25
- 0.80

Ключ выделен жирным

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр проблем химической физики
и медицинской химии Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора ФИЦ ПХФ и МХ РАН



/ Казакова А.В. /

«1» июня 2023 г.

ПРОГРАММА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ
«Теория и практика получения водорода электролизным способом»

2023 г.

Программа предназначена для повышения квалификации и (или) профессиональной переподготовки специалистов по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам, специалистов по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, специалистов по компьютерному проектированию технологических процессов, специалистов по испытаниям инновационной продукции nanoиндустрии, специалистов в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области материаловедения и технологии материалов, специалистов в области технологического обеспечения полного цикла производства объемных нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них, специалистов по проектированию изделий из наноструктурированных композиционных материалов, специалистов по технологии в области производства продукции с применением наноструктурированных катализаторов и инженерно-технических работников предприятий электрохимических производств с целью приобретения ими профессиональных компетенций в области цифрового моделирования функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков современных электролизных модулей получения водорода

Организация-разработчик: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук

Разработчики:

Золотухина Екатерина Викторовна, доктор хим. наук, главный научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Левченко Алексей Владимирович, кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Герасимова Екатерина Владимировна, кандидат хим. наук, старший научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Лысков Николай Викторович, кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Правообладатель программы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, 142432, г. Черноголовка, проспект академика Семенова, д.1, www.icp.ac.ru, 8(49652)21602

© ФИЦ ПХФ и МХ РАН, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

1. Паспорт профессионального модуля	28
2. Структура и содержание профессионального модуля	31
3. Условия реализации программы профессионального модуля	37
4. Контроль и оценка результатов освоения профессионального модуля	31
Приложение 2.1 Образцы оценочных средств для оценки сформированности ПК	43
Приложение 2.2 Образцы оценочных средств для оценки сформированности промежуточных результатов по МДК 01	52
Приложение 2.3 Образцы оценочных средств для оценки сформированности промежуточных результатов по МДК 02 и 03	62
Приложение 2.4 Образцы оценочных средств для оценки сформированности промежуточных результатов по МДК 03	69
Приложение 2.5 Учебно-методические материалы для обучающихся	76
Приложение 2.6 Методические материалы для преподавателя	77

1. ПАСПОРТ ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ «Теория и практика получения водорода электролизным способом»

1.1. Область применения программы

Профессиональный модуль предназначен для повышения квалификации \ профессиональной переподготовки целевой группы обучающихся специалистов по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам, специалистов по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, специалистов по компьютерному проектированию технологических процессов, специалистов по испытаниям инновационной продукции наноиндустрии, специалистов в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области материаловедения и технологии материалов, специалистов в области технологического обеспечения полного цикла производства объемных нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них, специалистов по проектированию изделий из наноструктурированных композиционных материалов, специалистов по технологии в области производства продукции с применением наноструктурированных катализаторов и инженерно-технических работников предприятий электрохимических производств с целью приобретения ими профессиональных компетенций в области цифрового моделирования функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков современных электролизных модулей получения водорода. Программа профессионального модуля используется в программе «Водородная и электрохимическая энергетика: от материалов до устройств» в части получения следующих результатов:

- ПК 1.1** Формировать исходную базу данных для цифровых расчетов мембранно-электродных блоков электролизеров, включающую систему исходных параметров, свойства используемых материалов, характеристики мембранно-электродных блоков, предварительные термодинамические расчеты
- ПК 1.2** Формировать техническое задание на моделирование мембранно-электродных блоков электролизера

Данный модуль является инвариантным для обучающихся по программе профессиональной переподготовки «Водородная и электрохимическая энергетика: от материалов до устройств».

Обучающийся по программе магистратуры «Водородная и электрохимическая энергетика» может выбрать данный модуль для построения своей индивидуальной образовательной программы повышения квалификации в области водородных технологий.

Программа профессионального модуля также может быть использована в ООП магистратуры «Нанотехнологии в электрохимическом производстве»,

«Водородная и электрохимическая энергетика», «Новые энергетические технологии».

1.2. Требования к промежуточным результатам освоения модуля

С целью формирования перечисленных результатов обучающийся в ходе освоения программы модуля должен:

иметь практический опыт:

- анализа научно-технической информации в области цифровых расчетов мембранно-электродных блоков (МЭБ) электролизеров для получения водорода из воды (ОПД1).
- составления технического задания на составление цифровой модели МЭБ электролизеров при заданных параметрах (ОПД2).

уметь:

- осуществлять расчет основных термодинамических характеристик процесса электролиза воды (У1);
- искать научно-технические источники информации в научной базе поиска и выделять в них параметры, характеристики функциональных элементов и состава МЭБ электролизеров для получения водорода из воды (У2);
- составлять по найденным в научно-технических источниках информации сведениям базу данных для моделирования МЭБ электролизеров для получения водорода из воды (У3);
- определять цель и задачи, формулировать результаты научно-исследовательской работы по цифровому моделированию МЭБ электролизера (У4);
- выделять этапы моделирования и формулировать требования к результату моделирования (У5).

знать:

- основные физико-химические и электрохимические понятия и законы, лежащие в основе электролизного способа получения водорода и определяющие термодинамику и кинетику этого процесса (З1);
- основные свойства, области применения водорода и способы его получения, место электролизного производства водорода среди этих способов (З2);
- основные типы электролизеров для получения водорода, состав и строение МЭБ твердополимерных и твердооксидных электролизеров (ТПЭ и ТОЭ) (З3);
- основные материалы, используемые в ТПЭ и ТОЭ, перечень требований к ним и перечень параметров для оценки работы электролизеров (З4);
- алгоритм работы с базами поиска научно-технической литературы (З5);
- перечень параметров, влияющих на вольтамперные характеристики электролизеров и уравнения, описывающие кинетику процессов на электродах электролизера (З6);

- требования к оформлению технического задания в соответствии с ГОСТ 19.201-78 ЕСПД (37).

1.3. Количество часов на освоение программы модуля:

всего – **68** часов, в том числе:

обязательной аудиторной учебной нагрузки обучающегося – **46** час;

самостоятельной работы обучающегося – **18** час;

практики - **4** час.

2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ

2.1. Учебно-тематический план профессионального модуля

Наименования элементов ПМ	Всего часов	Обязательная аудиторная учебная нагрузка, часов		Практика, часов	Самостоятельная работа, часов
		всего	в т.ч. практические и лабораторные занятия		
МДК 01 Основные вопросы физической химии и электрохимии	30	20	6		10
Тема 1 Основные вопросы физической химии в приложении к окислительно-восстановительным процессам	10	8	2		2
Тема 2 Основные вопросы электрохимии	20	12	4		8
МДК 02 Водород и его получение электролизным способом	8	8	0		0
Тема 1. Свойства и использование водорода	4	4	0		0
Тема 2. Получение водорода электролизным способом	4	4	0		0
МДК 03 Устройство современных электролизеров для производства водорода и использование электролизного водорода	22	18	8		4
Тема 1 Устройство электролизеров на основе твердополимерной мембраны	11	9	4		2
Тема 2 Устройство электролизеров на основе высокотемпературных твердооксидных мембран	11	9	4		2
Практика (стажировка)	8			4	4
Всего:	68	46	14	4	18
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]

2.2. Содержание обучения по профессиональному модулю

Наименование тем	Содержание учебного материала, лабораторные работы и практические занятия, практика, самостоятельная работа обучающихся, проекты	Объем часов	
МДК 01 Основные вопросы физической химии и электрохимии			
Тема 1. Основные вопросы физической химии в приложении к окислительно-восстановительным процессам	Содержание		
	1	Химическая термодинамика в приложении к окислительно-восстановительным процессам. Основные понятия химической термодинамики. Первое начало термодинамики. Термохимия. Понятие теплового эффекта химической реакции. Влияние температуры на тепловой эффект. Второе начало термодинамики. Влияние температуры на энтропию. Самопроизвольные и вынужденные процессы. Изменение свободной энергии как характеристика самопроизвольности процесса. Влияние концентрации на свободную энергию. Равновесие в обратимых системах. Влияние температуры на положение равновесия.	2
	2	Гетерогенная химическая кинетика окислительно-восстановительных процессов. Понятие скорости химической реакции. Общее кинетическое уравнение. Порядок реакции. Молекулярность. Обратимые и необратимые реакции. Реакции разного порядка. Сложные реакции. Влияние температуры на константу скорости реакции. Особенности механизма гетерогенных каталитических реакций.	2
	3	Адсорбционные взаимодействия на границе раздела фаз. Явление адсорбции. Адсорбенты и адсорбаты. Изотермы адсорбции. Гетерогенный катализ. Свойства катализаторов. Типы каталитических реакций.	2
	Практические занятия		
	1	Расчет изменения энтальпии, энтропии и энергии Гиббса окислительно-восстановительной реакции при разных температурах	2
	Самостоятельная работа		
	1	Решение расчетных задач для оценки изменения энтальпии, энтропии и энергии Гиббса процесса в заданном интервале температур	2
	2	Решение расчетных задач на влияние концентрации веществ на изменение энергии Гиббса и определение самопроизвольности процесса.	2
	Содержание		
	1	Особенности и понятия электрохимических систем. Отличие окислительно-восстановительных процессов от электрохимических. Электроды и электролиты в электрохимических источниках	1

Тема 2. Основные вопросы электрохимии		тока и электролизерах. Особенности газовых электродов. Гальванический элемент и электролизер. Катод и анод, и отрицательный и положительный электроды. Формирование двойного электрического слоя на границе раздела электрод/раствор электролита.		
	2	Термодинамика электродных процессов. Электрохимическая цепь. Электродвижущая сила цепи (ЭДС). Связь ЭДС с энергией Гиббса. Потенциал электрода. Уравнение Нернста для равновесного электродного потенциала. Напряжение цепи при разряде и при заряде. Понятие поляризации электрода. Виды поляризации. Равновесный потенциал и ток обмена. Направление тока в электрохимических системах. Влияние температуры на электродный потенциал.	2	
	3	Кинетика электродных процессов. Стадии электродного процесса. Массоперенос и перенос заряда. Лимитирующая стадия. Движущие силы массопереноса. Диффузионный и миграционный токи. Электропроводность электролитов. Кинетический ток. Уравнение Батлера-Фольмера. Общее кинетическое уравнение. Решения общего кинетического уравнения для обратимых и необратимых реакций. Вольтамперные характеристики. Большие и малые поляризации. Частные случаи. Сложный механизм электродных реакций. Роль химических стадий.	3	
	4	Понятие об электролизе. Законы Фарадея. Повышение напряжения заряда. Несамостоятельность процессов в электролизерах. Основные параметры электрохимических устройств. ТермоЭДС, тепловой КПД, влияние температуры и давления газов на ЭДС. Заряд-разрядные характеристики. Вольтамперные кривые. Приложение уравнений кинетики электродных процессов для описания поляризации на электродах в электролизере. Энергозатраты. Вклад поляризации и омических потерь в потери напряжения.	2	
	Практические занятия			
	1	Расчет термодинамических характеристик электродной реакции	2	
	2	Расчет зарядовых и термодинамических характеристик электролизеров	2	
	Самостоятельная работа			
	1	Решение расчетных задач для определения основных термодинамических характеристик электродных реакций	2	
	2	Решение расчетных задач для определения характеристик электродных реакций в электролизере	4	
МДК 02 Водород и его получение электролизным способом				
Содержание				
1.	Свойства водорода. Использование водорода в качестве накопителя энергии. Использование водорода в качестве источника энергии. Электротранспорт на водородном топливе.	2		

Тема 1. Свойства и использование водорода	2	Способы получения и хранения водорода. «Цвета» водорода в зависимости от способа получения. Безопасность при работе и проектировании систем получения и хранения водорода.	2
Тема 2. Получение водорода электролизным способом	Содержание		
	1.	Получение водорода электролизным способом. Типы электролизеров, перспективы их развития. Цифровое проектирование электролизеров и моделирование их функциональных элементов: программы	2
	2	Водородное охрупчивание конструкционных материалов. Взаимодействие водорода с материалами. Образование гидридов. Разрушение материалов под действием водорода. Материалы, стойкие к водороду.	2
МДК 03 Устройство современных электролизеров для производства водорода и использование электролизного водорода			
Тема 1. Устройство электролизеров на основе твердополимерной мембраны	Содержание		
	1.	Общие представления о типах электролизеров для получения водорода. Классификация. Строение электролизных модулей разных типов. Принципы работы щелочных электролизеров и их виды.	1
	2	Устройство электролизеров на основе твердополимерной мембраны. Строение мембранно-электродных блоков. Биполярные и монополярные пластины. Проточные каналы и их типы. Электродные процессы. Влияние различных факторов на работу электролизера. Параметры, влияющие на работу электролизного модуля. Алгоритм поиска параметров в научной литературе. Использование баз поиска научной литературы для составления параметрической базы данных.	2
	3	Материалы для твердополимерных электролизеров (ТПЭ) и их деградация. Материалы, используемые для катодов. Достоинства и недостатки. Требования к материалам. Материалы, используемые для анодов. Достоинства и недостатки. Требования к материалам. Типы электролитов. Достоинства перфторированных полимеров и причины их деградации. Материалы газожидкостных диффузионных слоев. Причины их деградации. Материалы биполярных или монополярных пластин. Причины их деградации.	2
	Практические занятия		
1	Составление алгоритма поиска литературы, содержащей данные для цифрового моделирования. Составление перечня ключевых слов под конкретную задачу. Составление перечня параметров для ТЭП, требуемых для составления модели. Соотнесение характеристик с конкретными материалами, составление базы данных.	2	

	2	Составление плана и основных разделов техзадания на моделирование твердополимерного электролизера по требованиям ГОСТ 19.201-78 ЕСПД. Правильная формулировка цели и последовательность задач. Выделение этапов моделирования. Подходы к формулировке результата моделирования.	2
	Самостоятельная работа		
	1	Решение кейсовой задачи на составление разделов техзадания по ГОСТ 19.201-78 ЕСПД для моделирования твердополимерного или твердооксидного электролизера.	2
Тема 2. Устройство электролизеров на основе высокотемпературных твердооксидных мембран	Содержание		
	1.	Устройство электролизеров на основе высокотемпературных твердооксидных мембран. Строение мембранно-электродных блоков. Конструкции ТОЭ. Коммутационные соединения. Преимущества и недостатки различных конструкций. Влияние различных факторов на работу электролизера. Параметры, влияющие на работу электролизного модуля.	2
	2	Материалы для твердооксидных электролизеров (ТОЭ) и их деградация. Материалы, используемые для катодов. Достоинства и недостатки. Требования к материалам. Материалы, используемые для анодов. Достоинства и недостатки. Требования к материалам. Типы электролитов. Требования к электролитам. Особенности высокотемпературных электролитов. Материалы коммутационных соединений. Требования к материалам. Коэффициенты термического расширения материалов. Причины деградации устройств ТОЭ, связанные с особенностями их работы.	2
	3	Применение водородных электролизеров для заправочных станций. Использование электролизеров для производства водорода. Требования к чистоте газа. Примеры использования.	1
	Практические занятия		
	1	Составление алгоритма поиска литературы, содержащей данные для цифрового моделирования ТОЭ. Составление перечня ключевых слов под конкретную задачу. Составление перечня параметров для ТОЭ, требуемых для составления модели.	2
	2	Составление плана и основных разделов техзадания на моделирование твердооксидного электролизера по требованиям ГОСТ 19.201-78 ЕСПД. Определение цели и задач. Выделение этапов моделирования, их последовательности. Подходы к формулировке результата моделирования.	2
	Самостоятельная работа при изучении темы		

	1	Выбор материалов для катода, анода и электролита, подходящих по коэффициентам термического расширения и химической стабильности на основе анализа литературы с характеристикой мембранно-электродных блоков ТОЭ разных конструкций	2
Стажировка		Знакомство с реализацией технологий водородной энергетики (электролизер, водородная заправка, материалы электродов, способы создания мембранно-электродных блоков) в Центре компетенций НТИ по технологиям новых и мобильных источников энергии при ФИЦ ПХФ и МХ РАН	2
Практика		Виды работ: <ol style="list-style-type: none"> 1. Составление базы данных (аннотированного отчета) для моделирования МЭБ электролизера (ТЭП или ТОЭ) под сформулированную задачу 2. Составление проекта техзадания на НИР по моделированию МЭБ электролизера (ТЭП или ТОЭ) под сформулированную задачу. 	6
Всего:			68

3. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ

3.1. Требования к материально-техническому обеспечению

Реализация программы модуля не предполагает наличия специализированного учебного кабинета при условии соответствия учебных кабинетов санитарным нормам, а его оборудования – изложенным ниже требованиям.

Оборудование учебного кабинета \ полигона \ лаборатории и рабочих мест кабинета:

- Компьютер/ноутбук с операционной системой Windows (версия не ниже 7.0), программой для работы в интернете (Chrome или аналог), программой для работы с текстами и презентациями (MS Office)

- Мультимедийный проектор

Технические средства обучения:

Компьютеры, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет и подключенные к международным и российских научным базам данных, с доступом к электронной библиотеке с основными международными научными журналами

Каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечной системе (электронной библиотеке) Ногинского научного центра и к электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) научно-образовательного центра (НОЦ) ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

Функционирование электронной информационно-образовательной среды обеспечивается соответствующими средствами информационно-коммуникационных технологий и квалификацией работников, ее использующих и поддерживающих.

Требования к месту проведения практики:

Особых требований к месту проведения практики нет.

3.2. Информационное обеспечение обучения

Основные источники

1. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М.: Химия, 2006. 672

2. Добровольский Ю. А., Гутерман В. Е., Смирнова Н. В., Лысков Н. В., Фролова Л. А., Куриганова А. Б. Электрохимические накопители и преобразователи энергии: Учебное пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2012. – 76 с.

3. Козлов С.И. Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы / С.И. Козлов, В.Н. Фатеев. - М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. - 518 с.

7. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. – М.: Высшая школа, 2003.

Дополнительные источники

1. Багоцкий В.С. Основы электрохимии. М.: Химия, 1988. 400 с.
2. Багоцкий В. С., Скундин А. М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981. 360 с.
3. Гамбург Д. Ю., Семенов В. П., Дубовкин Н. Ф., Смирнова Л. Н. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справочник. // Под ред. Д.Ю.Гамбурга и Н.Ф.Дубовкина. М.: «Химия», 1989.
4. Горшков В.И., Кузнецов И.А. Основы физической химии. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006.
5. Коровин Н. В., Скундин А. М. Химические источники тока. М.: МЭИ, 2003. — 740 с.
6. Радченко Р. В. Водород в энергетике : учебное пособие / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа; [науч. ред. С. Е. Щеклеин]. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2014. — 229, [3] с. — ISBN 978-5-7996-1316-7.
7. Якименко Л. М., Модылевская И. Д., Ткачек З. А. Электролиз воды. – М.: Химия, 1970. – 264 с.

3.3. Общие требования к организации образовательного процесса

Организация образовательного процесса

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками, видеороликами. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия. Электронная презентация и видеоролики позволяют отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала. Занятия предусматривают обязательную дискуссию, строящуюся с использованием презентационного материала, по вопросам, формируемым аудиторией слушателей и преподавателем, что позволяет закрепить получаемую информацию и связать ее с уже изученными ранее разделами.

Практическое занятие подразумевает решение заданий, предназначенных для формирования требуемых умений: расчетных задач и практических заданий.

Самостоятельная работа студентов подразумевает тренировку в выполнении расчетных задач и практических заданий для закрепления выработанных умений, а также знакомство с теоретическим материалом, выдаваемым преподавателем, для формирования нужных для выполнения практических заданий знаний.

В рамках практики обучающиеся при консультации и контроле преподавателя осваивают формирование базы данных, которая будет использована для дальнейшего моделирования, и приобретают опыт составления технического задания на формирование цифровой модели.

Входные требования к обучающимся:

Особых требований нет.

3.4. Кадровое обеспечение образовательного процесса

Реализация программы обеспечивается научно-педагогическими работниками, имеющими ученую степень и публикации в ведущих отечественных и/или зарубежных рецензируемых научных журналах и изданиях, осуществляющими самостоятельную научно-исследовательскую деятельность в течение последних 5 лет в области электрохимических устройств преобразования энергии.

Квалификация научно-педагогических работников организации соответствует квалификационным характеристикам, установленным в Едином квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов и служащих, раздел "Квалификационные характеристики должностей руководителей и специалистов высшего профессионального и дополнительного профессионального образования", утвержденном приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 11 января 2011 г. № 1н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 23 марта 2011 г., регистрационный № 20237), и профессиональным стандартам.

4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ

Образовательное учреждение, реализующее программу профессионального модуля, обеспечивает организацию и проведение текущего и промежуточного контроля демонстрируемых обучающимися знаний, умений и полученного ими опыта практической деятельности.

Текущий контроль проводится преподавателем на основе оценивания результатов практической работы обучающихся.

Промежуточный контроль проводится после завершения каждого МДК с оценкой знаний и умений, сформировавшихся у каждого обучающегося по заданиям, примеры которых приведены в ФОС (Приложения 2.2-2.4).

Итоговый контроль проводится комиссией преподавателей (экспертной комиссией) на основе оценивания продукта практической деятельности по показателям. По результатам итогового контроля формируется оценочное суждение о достижениях образовательных результатов профессионального модуля – профессиональных компетенций в формате: «сформирована\ не сформирована». Оценка проводится на основании заданий и по критериям, приведенным в ФОС (Приложение 2.1).

Порядок перевода оценочных баллов в оценочное суждение определяется в оценочных средствах.

Формы и методы текущего, промежуточного и итогового контроля, критерии оценивания доводятся до сведения обучающихся в начале обучения.

Для текущего, промежуточного и итогового контроля образовательными учреждениями создаются фонды оценочных средств (ФОС). ФОС включают в себя педагогические контрольно-измерительные материалы, предназначенные для определения соответствия (или несоответствия) индивидуальных образовательных достижений основным показателям результатов профессионального модуля.

Результаты (освоенные профессиональные компетенции)	Показатели оценки результатов	Формы и методы оценки
<p>ПК 1.1 Формировать исходную базу данных для цифровых расчетов мембранно-электродных блоков электролизеров, включающую систему исходных параметров, свойства используемых материалов, характеристики мембранно-электродных блоков, предварительные термодинамические расчеты</p>	<p>1) Ключевые слова позволяют отобрать источники научно-технической литературы, максимально приближенные к заданию 2) Источники заимствованы из системы поиска научной литературы 3) База данных содержит информацию об исходных параметрах для моделирования, включает физико-химические свойства используемых в мембранно-электродном блоке материалов, включает геометрические, физические и электрохимические характеристики мембранно-электродного блока и материалов 4) Приведены результаты термодинамических расчетов ЭДС и теплового эффекта реакции в электролизере 5) Сведения, содержащиеся в базе данных, позволяют сформировать техзадание для построения расчетной модели мембранно-электродного блока электролизера</p>	<p>Оценка продукта практической деятельности (аннотированный отчет по поиску в системе поиска научной литературы) по критериям</p>
<p>ПК 1.2 Формировать техническое задание на моделирование мембранно-электродных блоков электролизера</p>	<p>Тема и цель технического задания соответствуют поставленной задаче и сформулированы с указанием типов функциональных элементов и материалов, используемых в мембранно-электродном блоке электролизера 2) В тексте техзадания содержатся характеристики используемых материалов, стехиометрические уравнения реакций процессов на катоде и аноде, устройство и геометрия мембранно-электродного блока, достаточные для последующего моделирования 3) Описание требуемого результата расчетов обозначено в виде конкретных рассчитываемых выходных характеристик мембранно-электродного блока или конкретных электрохимических или физико-химических зависимостей выходных характеристик мембранно-электродного блока. 4) Структура ТЗ соответствует требованиям ГОСТ 19.201-78 ЕСПД</p>	<p>Оценка продукта практической деятельности (техническое задание на моделирование мембранно-электродных блоков электролизера) по критериям</p>

Образцы оценочных средств для оценки сформированности ПК

Спецификация

Деятельность, подлежащая оценке

1. Формировать исходную базу данных для цифровых расчетов мембранно-электродных блоков электролизеров, включающую систему исходных параметров, свойства используемых материалов, характеристики мембранно-электродных блоков, предварительные термодинамические расчеты
2. Формировать техническое задание на моделирование мембранно-электродных блоков электролизера

Основные показатели оценки

По деятельности 1:

б) Ключевые слова позволяют отобрать источники научно-технической литературы, максимально приближенные к заданию

7) Источники заимствованы из системы поиска научной литературы

8) База данных содержит информацию об исходных параметрах для моделирования, включает физико-химические свойства используемых в мембранно-электродном блоке материалов, включает геометрические, физические и электрохимические характеристики мембранно-электродного блока и материалов

9) Приведены результаты термодинамических расчетов ЭДС и теплового эффекта реакции в электролизере

10) Сведения, содержащиеся в базе данных, позволяют сформировать техзадание для построения расчетной модели мембранно-электродного блока электролизера

По деятельности 2:

1) Тема и цель технического задания соответствуют поставленной задаче и сформулированы с указанием типов функциональных элементов и материалов, используемых в мембранно-электродном блоке электролизера

2) В тексте техзадания содержатся характеристики используемых материалов, стехиометрические уравнения реакций процессов на катоде и аноде, устройство и геометрия мембранно-электродного блока, достаточные для последующего моделирования

3) Описание требуемого результата расчетов обозначено в виде конкретных рассчитываемых выходных характеристик мембранно-электродного блока или конкретных электрохимических или физико-химических зависимостей выходных характеристик мембранно-электродного блока.

4) Структура ТЗ соответствует требованиям ГОСТ 19.201-78 ЕСПД

Форма оценки

Продукт (аннотированный отчет по поиску в системе поиска научной литературы).

Методы оценки

Оценка по критериям

Требования к процедуре оценки

Помещение:	Особых требований нет
Оборудование:	Персональный компьютер
Инструменты:	Microsoft Word 2007 или выше, Google Chrome версия 106.0.5249.103 или выше, Калькулятор (встроенная программа)

	база поиска научной литературы Google Академия https://scholar.google.com/schhp?hl=en-US
Расходные материалы:	–
Доступ к дополнительным инструкциям и справочным материалам:	Справочная таблица для расчетов теплового эффекта и ЭДС https://tehtab.ru/Guide/GuideChemistry/ThermicConstantsSubst/ThermicConstantsSubstEnorganic/ ГОСТ 19.201-78 ЕСПД
Норма времени:	8 часов

Требования к кадровому обеспечению оценки

Оценщик (эксперт):	Ученая степень кандидата или доктора наук, наличие научных статей за последние 5 лет в области электрохимических устройств преобразования энергии
Ассистент:	Высшее образование.

Основания для создания параллельных вариантов оценочных средств

Различные исследовательские задачи создания базы данных

Инструмент оценки

Перед вами поставлена задача собрать исходные данные по материалам, геометрии и толщине слоев и исходным параметрам для построения цифровой модели мембранно-электродного блока твердополимерного электролизера получения водорода из воды.

1.

Ознакомьтесь с формой аннотированного отчета по поиску в системе поиска научной литературы (бланк) и внимательно изучите пример ее заполнения (источник 1).

Осуществите поиск по ключевым словам в базе поиска научной литературы Google Академия <https://scholar.google.com/schhp?hl=en-US>. Глубина поиска – не менее 10 лет и не более 30 лет.

Проведите предварительный термодинамический расчет удельной энергии, напряжения разомкнутой цепи (ЭДС), теплового эффекта реакции в электролизере при найденной рабочей температуре.

Для проведения расчетов вы можете воспользоваться справочной таблицей <https://tehtab.ru/Guide/GuideChemistry/ThermicConstantsSubst/ThermicConstantsSubstEnorganic/>

Дополните отчет иными данными, необходимыми для составления технического задания к цифровому моделированию.

Заполните бланк в электронной форме. Отчеркивайте отдельную строку, записывайте наименование параметра в левой колонке, а данные, полученные в научной литературе – в правой для каждого элемента данных, дополняющих заданные в бланке. Сохраните заполненный бланк в папке C://Documents//БД_ОС1 под своим именем, например, БД_ИвановСП.doc.

2.

Используя данные вашего аналитического отчета, составьте техническое задание для цифрового моделирования мембранно-электродного блока твердополимерного электролизера получения водорода из воды.

Оформите техническое задание в соответствии с требованиями п. 1.4 ГОСТ 19.201-78 ЕСПД. Для оформления можете пользоваться полным текстом ГОСТ, размещенным в

папке C://Documents//БД_ОС1/ГОСТ 19.201-78 ЕСПД, включив в текст своего технического задания обязательные разделы, указанные в примере (источник 2).

Сохраните файл техзадания в папке C://Documents//БД_ОС1 под своим именем, например, ТЗ_ИвановСП.doc

Бланк

Дата	
ФИО	
База поиска научной литературы	
Перечень ключевых слов для поиска	
Перечень найденных публикаций	
Геометрические параметры МЭБ	
Материал, толщина и пористость диффузионного слоя	
Проницаемость диффузионного слоя	
Электронная проводимость диффузионного слоя	
Тип и марка используемой мембраны	
Электропроводность мембраны	
Катодный материал	
Загрузка катализатора на катоде	
Толщина катодного слоя	
Анодный материал	
Загрузка катализатора на аноде	
Толщина анодного слоя	
Рабочая температура электролизера	
Тепловой эффект реакции при рабочей температуре	
Удельная энергия	
Теоретическая ЭДС (Напряжение разомкнутой цепи)	

Источник 1

Пример заполнения формы аналитического отчета по поиску в системе поиска научной литературы

Параметр	Результат	Пример
Дата	<i>Запишите дату</i>	<i>30.09.2023 г.</i>
ФИО	<i>Запишите полностью</i>	<i>Иванов Сидор Петрович</i>
База поиска научной литературы	<i>Запишите название</i>	<i>Google Академия</i>
Перечень ключевых слов для поиска	<i>Запишите ключевые слова, каждое с новой строки</i>	<i>Membrane electrode assembly in PEM electrolyzer Cathode material for PEM electrolyzer Anode material for PEM electrolyzer Membrane thickness in PEM electrolyzer</i>

		Geometry of MEA in PEM electrolyzer
Перечень найденных публикаций	Запишите дои или полные ссылки статей, используемых для составления таблицы	<p>1. Lettenmeier, P., Wang, R., Abouatallah, R., Helmly, S., Morawietz, T., Hiesgen, R., Kolb, S., Burggraf, F., Kallo, J., Gago, A.S. and Friedrich, K.A., 2016. Durable membrane electrode assemblies for proton exchange membrane electrolyzer systems operating at high current densities. <i>Electrochimica Acta</i>, 210, pp.502-511.</p> <p>2. Xu, W. and Scott, K., 2010. The effects of ionomer content on PEM water electrolyser membrane electrode assembly performance. <i>International Journal of Hydrogen Energy</i>, 35(21), pp.12029-12037.</p> <p>3. Laube, A., Hofer, A., Batalla, B.S., Ressel, S., Chica, A., Fischer, S., Weidlich, C., Bachmann, J. and Struckmann, T., 2022. Tubular membrane electrode assembly for PEM electrolysis. <i>International Journal of Hydrogen Energy</i>, 47(36), pp.15943-15951.</p>
Геометрические параметры МЭБ	Запишите выбранную геометрию МЭБ, длина-ширина-толщина, см	12x5x0.15 см
Материал, толщина и пористость диффузионного слоя	Запишите материал (название, марка - при наличии), толщину (мкм), пористость (доли или %) диффузионного слоя	Пористый титан, 150 мкм, пористость 58%
Проницаемость диффузионного слоя	Запишите величину проницаемости ДС (м ²)	70 м ²
Электронная проводимость диффузионного слоя	Запишите величину электронной проводимости (электропроводности) диффузионного слоя, См/м	2·10 ³ См/м
Тип и марка используемой мембраны	Запишите тип и марку используемой в МЭБ мембраны	Протонпроводящая, Nafion 117

Электропроводность мембраны	<i>Запишите в См/см или См/м</i>	$3.2 \cdot 10^{-2}$ См/см
Катодный материал	<i>Запишите тип используемого катодного материала и марку в случае используемого коммерческого продукта</i>	MoS ₂ на восстановленном оксиде графена
Загрузка катализатора на катоде	<i>Запишите загрузку в г/см²</i>	$2 \cdot 10^{-3}$ г/см ²
Толщина катодного слоя	<i>Запишите толщину в мкм</i>	1 мкм
Анодный материал	<i>Запишите тип используемого анодного материала и марку в случае используемого коммерческого продукта</i>	IrO ₂
Загрузка катализатора на аноде	<i>Запишите загрузку в г/см²</i>	$2 \cdot 10^{-3}$ г/см ²
Толщина анодного слоя	<i>Запишите толщину в мкм</i>	2 мкм
Рабочая температура электролизера	<i>Запишите рабочую температуру электролизера в °C и K</i>	60 °C (333 K)
Тепловой эффект реакции при рабочей температуре	<i>Рассчитайте и запишите величину теплового эффекта реакции в электролизере при рабочей температуре электролизера</i>	-256 кДж/моль
Удельная энергия	<i>Рассчитайте и запишите удельную энергию процесса в электролизере при указанной рабочей температуре: кДж/моль, кДж/кг, кДж/л</i>	456 кДж/моль, 53 кДж/кг, 49 кДж/л
Теоретическая ЭДС (Напряжение разомкнутой цепи)	<i>Рассчитайте и запишите величину теоретической ЭДС (напряжения разомкнутой цепи), В</i>	1.1 В

Техническое задание на построение (чего, укажите) (указать каких элементов и/или параметров) мембранно-электродного блока (указать тип) электролизера получения водорода из воды

Раздел	Результат	Пример
Введение	<i>Запишите в краткой форме обоснование постановки задачи</i>	Электролизное производство водорода является одним из наиболее экологичных способов. (Указать тип) электролизные модули состоят из (чего?). Для оптимизации их работы целесообразно использовать не экспериментальные образцы, а предварительное цифровое моделирование (чего?). С этой целью составляются базы данных, которые содержат параметры, необходимые для построения цифровой модели (указать, чего?).
Цель работы	<i>Сформулируйте цель научно-исследовательской работы</i>	Целью работы является построение цифровой модели (чего?) для получения (каких, указать) характеристик электролизера на основе (указать материалы).
Назначение разработки	<i>Укажите, для чего разрабатывается данная модель</i>	Разрабатываемая цифровая модель предназначена для оптимизации (каких характеристик, параметров?) мембранно-электродного блока (указать тип) электролизера для производства водорода из воды, работающего (указать режим работы)
Требования к программному изделию и его функциональным характеристикам	<i>Опишите, какие параметры должна рассчитать модель, в каком виде необходим результат моделирования</i>	Цифровая модель должна выдавать оптимизированные геометрические параметры (чего, укажите), оптимизированные параметры потоков (чего, укажите) и соответствующие им вольтамперные характеристики (какие, укажите). Цифровая модель должна описывать процессы (какие, укажите). Результат моделирования должен быть предоставлен в виде файла в формате *.mph, предназначенного для просмотра в ПО Comsol MultiPhysics, а также в виде файла полного отчета в формате *.docx
Стадии и этапы разработки	<i>Разбейте работу на этапы, подразумевающие получение промежуточных результатов</i>	Цифровое моделирование (чего, укажите) необходимо проводить в несколько этапов, каждый из которых заканчивается результатом моделирования. Этап 1: Построение геометрической модели (чего, укажите), с учетом параметров базы данных (каких, укажите) Этап 2: 1. Выбор уравнений для описания процессов (где и каких, укажите)

		2. Ввод исходных данных для моделирования (каких, укажите, используя сформированную базу данных) Этап 3: Проведение первичных расчетов с получением (чего, укажите) Этап 4: Оптимизация (чего, укажите)
--	--	---

Инструмент проверки

По деятельности «Формировать исходную базу данных для цифровых расчетов мембранно-электродных блоков электролизеров, включающую систему исходных параметров, свойства используемых материалов, характеристики мембранно-электродных блоков, предварительные термодинамические расчеты»

Критерий оценки	Показатель	Оценка, 1\0
Ключевые слова позволяют отобрать источники научно-технической литературы, максимально приближенные к заданию	1*	
Источники заимствованы из системы поиска научной литературы	2*	
БД содержит правдоподобную информацию о физико-химических свойствах используемых в мембранно-электродном блоке материалов	3	
БД содержит правдоподобную информацию о геометрических характеристиках мембранно-электродного блока	3	
БД содержит правдоподобную информацию о физических характеристиках мембранно-электродного блока	3	
БД содержит правдоподобную информацию о химических характеристиках мембранно-электродного блока	3	
Заданные ячейки заполнены полностью, данные правдоподобны	3*	
Приведены данные не менее чем по 9 дополнительным позициям, важным для составления технического задания**	3	
Приведены данные не менее чем по 10-14 дополнительным позициям, важным для составления технического задания**	3	
Приведены результаты термодинамических расчетов ЭДС и теплового эффекта реакции в электролизере	4	
Результаты термодинамических расчетов ЭДС и теплового эффекта реакции в электролизере корректны	4	
Сведения, содержащиеся в базе данных, позволяют сформировать техзадание для построения расчетной модели мембранно-электродного блока электролизера	5	
Сведения, содержащиеся в базе данных, достаточны для формирования техзадания для построения расчетной модели мембранно-электродного блока электролизера	5	

Знаком «» отмечены критерии, при несоответствии которым проверка прекращается с отрицательным для соискателя результатом.

** Дополнительные позиции

- Тип и толщина/пористость биполярной пластины
- Тип и толщина прокладки

- Угол смачивания диффузионного слоя
- Газопроницаемость мембраны
- Проницаемость катодного каталитического слоя
- Пористость катодного каталитического слоя
- Угол смачивания катодного каталитического слоя
- Ионная проводимость катодного каталитического слоя
- Электронная проводимость катодного катслоя
- Проницаемость анодного каталитического слоя
- Пористость анодного каталитического слоя
- Угол смачивания катодного каталитического слоя
- Ионная проводимость анодного каталитического слоя
- Электронная проводимость анодного катслоя

Вывод эксперта о готовности испытуемого к выполнению трудовой функции об освоении трудовой функции фиксируется для каждого обучающегося в следующей таблице.

Итоговая оценка		дата	эксперт
Баллы	Отметка		
0-10	Компетенция не сформирована		
12-13	Компетенция сформирована		

По деятельности «Формировать техническое задание на моделирование мембранно-электродных блоков электролизера»

Критерий оценки	Показатель	Оценка, 1\0
Тема и цель технического задания соответствуют поставленной задаче и сформулированы с указанием типов функциональных элементов и материалов, используемых в мембранно-электродном блоке электролизера	1*	
Текст техзадания содержит перечень материалов, необходимый для построения цифровой модели и их характеристики	2	
Текст техзадания содержит уравнения реакций процессов на катоде и аноде (с учетом стехиометрии) и их характеристики, необходимые для построения цифровой модели	2	
Текст техзадания содержит геометрические характеристики мембранно-электродного блока и его функциональных элементов, необходимые для построения цифровой модели	2	
Приведенные в тексте техзадания характеристики используемых материалов, стехиометрические уравнения реакций процессов на катоде и аноде, устройство и геометрия мембранно-электродного блока достаточны для последующего моделирования	2	
Описание требуемого результата расчетов обозначено в виде конкретных рассчитываемых выходных характеристик мембранно-электродного блока	3	
Описание требуемого результата расчетов обозначено в виде конкретных электрохимических или физико-химических зависимостей выходных характеристик мембранно-электродного блока	3	

Приведенное описание требуемого результата расчетов правдоподобно и соответствует обычно определяемым характеристикам	3	
Структура ТЗ выдержана в соответствии с требованиями ГОСТ 19.201-78 ЕСПД	4*	

Знаком «» отмечены критерии, при несоответствии которым проверка прекращается с отрицательным для соискателя результатом.

Вывод эксперта о готовности испытуемого к выполнению трудовой функции об освоении трудовой функции фиксируется для каждого обучающегося в следующей таблице.

Итоговая оценка		дата	эксперт
Баллы	Отметка		
0-7	Компетенция не сформирована		
8-9	Компетенция сформирована		

Образцы оценочных средств для оценки сформированности промежуточных результатов

Спецификация

Цель теста: оценить сформированность знаний и умений к МДК «Основные вопросы физической химии и электрохимии»

Знания, умения в соответствии с требованиями к квалификации, на соответствие которым проводится оценка квалификации	Критерии оценки квалификации		Тип и номер задания
	единица содержания	балл	
31. Знает основные физико-химические и электрохимические понятия и законы, лежащие в основе электролизного способа получения водорода и определяющие термодинамику и кинетику этого процесса	Знает и понимает физико-химические понятия	1	<u>Задание 1</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
		1	<u>Задание 2</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает виды поляризации	1	<u>Задание 3</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает условия самопроизвольности процесса	1	<u>Задание 4</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает условия равновесного состояния процесса	1	<u>Задание 5</u> закрытого типа на исключение лишнего
	Понимает явление адсорбции	1	<u>Задание 6</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает типы изотерм адсорбции	1	<u>Задание 7</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает свойства катализаторов	1	<u>Задание 8</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает уравнения химической кинетики	1	<u>Задание 9</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	36. Знает перечень параметров, влияющих на вольтамперные характеристики электролизеров и	Интерпретирует вольтамперные кривые	1
Знает виды потерь напряжения		1	<u>Задание 13</u> закрытого типа с выбором одного или

уравнения, описывающие кинетику процессов на электродах электролизера	Знает способы расчета ЭДС реакции	1	нескольких правильных ответов из предложенных вариантов <u>Задание 14</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает уравнения вольтамперных кривых	1	<u>Задание 17</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает стадии электродной реакции	1	<u>Задание 18</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает механизм электропроводности электролитов	1	<u>Задание 19</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Понимает движущие силы явления массопереноса при протекании электродного процесса	1	<u>Задание 20</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает уравнения кинетики переноса заряда	1	<u>Задание 21</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает принципы работы электролизера	1	<u>Задание 22</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает правила пересчета единиц измерения	1	<u>Задание 23</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает законы Фарадея	1	<u>Задание 24</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
У1. Умеет осуществлять расчет основных термодинамических характеристик процесса электролиза воды	Рассчитывает изменение энергии Гиббса реакции в стандартных условиях	10	<u>Задание 10</u> открытого типа с заданными ограничениями
	Рассчитывает изменение энергии Гиббса реакции при повышенной температуре	10	<u>Задание 11</u> открытого типа с заданными ограничениями
	Рассчитывает ЭДС конкретного элемента	10	<u>Задание 15</u> открытого типа с заданными ограничениями
	Рассчитывает константу равновесия из стандартной ЭДС	10	<u>Задание 16</u> открытого типа с заданными ограничениями
	Рассчитывает максимальные энергозатраты при электролизе	10	<u>Задание 25</u> открытого типа с заданными ограничениями
	Рассчитывает напряжение батареи	1	<u>Задание 26</u> закрытого типа с выбором одного или

		нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
--	--	---

Требования к условиям процедуры тестирования.

Обучающимся предоставляется доступ к персональному компьютеру с тестовым заданием (html5-формат). Тестовое задание организовано в окне плеера с кнопкой управления «Далее» и навигатором-оглавлением по списку вопросов, дающим возможность выбора вопроса. Ответ на все вопросы теста является обязательным. После выбора или ввода ответа надо нажать кнопку «далее», после чего показывается окно-индикатор, со сведениями о правильном или неправильном прохождении данного пункта задания. Верный ответ не показывается. Для успешного прохождения тестового задания необходимо набрать 80% правильных ответов. Каждое закрытое задание оценивается в 1 балл, каждое открытое задание оценивается в 10 баллов. На прохождение всего теста дается две попытки.

Помещение:	Особых требований нет
Оборудование:	Персональный компьютер
Инструменты:	Google Chrome версия 106.0.5249.103 или выше, Калькулятор (встроенная программа)
Расходные материалы:	–
Доступ к дополнительным инструкциям и справочным материалам:	нет
Норма времени:	2 часа

Требования к кадровому обеспечению оценки

Оценщик (эксперт):	Высшее образование по естественно-научному профилю (химия, физика)
Ассистент:	Особых требований нет

Инструкция по подсчету баллов

Вывод эксперта о готовности испытуемого к обучению по программе курса делается на основании суммарного процента верных ответов (всего 71 балл – 100%) в следующей таблице.

Итоговая оценка		дата	эксперт
Процент правильных ответов	Отметка		
0-79	Образовательный результат не сформирован (неудовлетворительно)		
80-85	Образовательный результат частично сформирован (удовлетворительно)		
86-94	Образовательный результат в целом сформирован (хорошо)		
95-100	Образовательный результат полностью сформирован (отлично)		

Инструмент оценки

Инструкция: Откройте тестовое задание и выполняйте его последовательно, следуя инструкции каждого пункта задания. Задания предусматривают выбор верного ответа или ввод числового значения. Выбор ответа или ввод значения является обязательным. После выбора или ввода ответа надо нажать кнопку «далее», после чего Вам будет показан индикатор, свидетельствующий о правильном или неправильном прохождении данного пункта задания. Пользуясь навигатором-оглавлением, Вы можете перемещаться между вопросами задания. Для успешного прохождения тестового задания необходимо набрать 80% правильных ответов. Каждое тестовое задание оценивается в 1 балл, каждое задачное задание оценивается в 10 баллов. На прохождение всего теста дается две попытки.

Пример тестового задания:

*Ключи выделены **жирным***

1. Выберите верный ответ.
Закрытой системой называют систему, способную обмениваться с окружающей средой
 - веществом или энергией
 - только веществом, но не энергией
 - только энергией, но не веществом**
2. Выберите все верные ответы.
Электролиты, используемые для электрохимических устройств, классифицируют как
 - Водные/неводные**
 - Твердые/жидкие/гелевые**
 - Низкотемпературные/высокотемпературные по области проводимости**
 - Полярные/неполярные
 - Катион/Анионпроводящие
3. Выберите все верные ответы.
Поляризация бывает
 - катодная**
 - анодная**
 - большая**
 - малая**
 - концентрационная**
 - активационная**
 - неравновесная
 - равновесная

4. Выберите верный ответ.

Процесс в закрытой системе всегда протекает самопроизвольно при

- $dH < 0$
- $dS > 0$
- $dH < 0$, $dS > 0$ и $|TdS| > |dH|$**
- $dH < 0$, $dS < 0$ и $|TdS| < |dH|$

5. Выберите верный ответ.

В состоянии равновесия систему не характеризуют

- минимальным значением свободной энергии
- величиной константы равновесия
- равенством скоростей прямой и обратной парциальных реакций
- равенством концентраций реагентов и продуктов реакции**

6. Выберите верный ответ.

Явление адсорбции основано на

- химическом сродстве атомов и молекул адсорбента и адсорбата
- электростатическом взаимодействии полярных частиц адсорбата и групп поверхности адсорбента
- стремлении частиц поверхности минимизировать избыток поверхностной энергии за счет взаимодействия с частицами примыкающей фазы**
- химическом взаимодействии частиц контактирующих фаз

7. Выберите верный ответ.

Изотерма Ленгмюра описывает случай адсорбции с образованием

- монослоя адсорбированного вещества
- монослоя адсорбированного вещества, без взаимодействия между его частицами**
- моно-, би-, три- и т.д. слоев адсорбированного вещества, но только на гладкой поверхности адсорбента
- монослоя адсорбированного вещества с учетом взаимодействия между его частицами

8. Выберите верный ответ.

Металлы подгруппы платины катализируют реакции

- гидрирования
- гидратации
- сольватации

9. Выберите верный ответ.

Кинетическое уравнение $k = \frac{1}{t} \frac{c_0 - c}{c_0 c}$ описывает

- константу скорости реакции 3-го порядка
 - константу скорости реакции 1-го порядка
 - время полупревращения реакции 2-го порядка
 - **константу скорости реакции 2-го порядка**
 - время полупревращения реакции 1-го порядка
10. Рассчитайте изменение энергии Гиббса реакции образования жидкой воды из водорода и кислорода при температуре 298 К, если тепловой эффект образования $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ -285.84 кДж/моль, стандартные величины энтропии при 298 К для жидкой воды 69.96 Дж/(мольК), для кислорода (г) 205.03 Дж/(мольК), для водорода (г) 130.52 Дж/(мольК).

Введите ответ в кДж/моль, с правильным знаком и двумя значащими цифрами после разделителя целой и дробной части (точка):

Ключ: **-237.24**

11. Рассчитайте изменение энергии Гиббса реакции образования водорода и кислорода из жидкой воды для температуры 80 °С. Справочные данные для решения:

Стандартная энтальпия образования $\Delta_f H_{298}(\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}) = -285.84$ кДж/моль,

Стандартные энтропии $S_{298}(\text{O}_2) = 205.03$ Дж/(мольК), $S_{298}(\text{H}_2) = 130.52$ Дж/(мольК), $S_{298}(\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}) = 69.96$ Дж/(мольК),

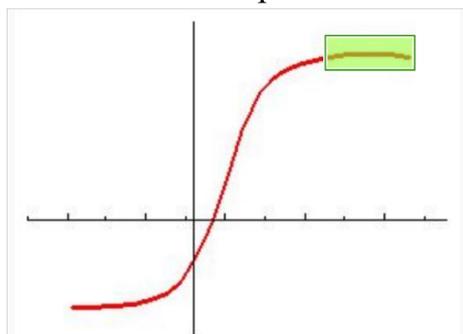
Стандартные молярные теплоемкости при постоянном давлении $C_{p298}(\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}) = 75.30$ Дж/(мольК), $C_{p298}(\text{H}_2) = 28.83$

Дж/(мольК), $C_{p298}(\text{O}_2) = 29.35$ Дж/(мольК).

Введите ответ, учитывая знак, в кДж/моль, с одной значащей цифрой в дробной части:

Ключ: **228.4**

12. Отметьте область предельного анодного тока на изображении.



Ключ (область правильного ответа) выделен зеленым.

13. Выберите все верные ответы.

Падение напряжения гальванического элемента после начала его работы связано с

- индукцией токоотводов
- омическими потерями
- поляризацией электродов вследствие протекания электрохимических реакций
- протеканием шунтирующих токов
- поляризацией электродов вследствие протекания химических реакций

14. Выберите все верные ответы.

Стандартную ЭДС электрохимической цепи можно рассчитать, используя уравнение

- $E^o = \frac{\Delta G^o}{nF}$
- $E^o = -\frac{\Delta G^o}{nF}$
- $E^o = E^o_{\text{анода}} - E^o_{\text{катода}}$
- $E^o = E^o_{\text{катода}} - E^o_{\text{анода}}$
- $E^o = -nF\Delta G^o$
- $E^o = nF\Delta G^o$

15. Рассчитайте ЭДС элемента



Парциальные давления водорода и кислорода равны 1 атм.

Введите ответ в (В), с правильным знаком и двумя значащими цифрами после разделителя целой и дробной части:

Ключ 1.23

16. Определите константу равновесия реакции $Ag + Fe^{3+} = Ag^+ + Fe^{2+}$

Справочные данные для расчета:

$$E^o(Ag^+/Ag) = 0.799 \text{ В}, E^o(Fe^{3+}/Fe^{2+}) = 0.771 \text{ В}.$$

Температура 298 К.

Введите ответ с двумя значащими цифрами в дробной части:

Ключ 2.98

17. Выберите верный ответ.

Уравнение вольтамперной кривой для обратимой реакции запишется в виде:

- $E = E_{1/2} - \frac{RT}{\alpha_c n F} \ln \frac{I_{c,L} - I}{I}$
- $E = E_{1/2} - \frac{RT}{\alpha_c n F} \ln \frac{I_{c,L} - I}{I - I_{a,L}}$
- $E = \frac{RT}{\alpha n F} \ln i_0 - \frac{RT}{\alpha n F} \ln |i|$

18. Выберите все верные ответы.

Стадиями электродного процесса растворимой редокс-пары на инертном электроде являются

- **Массоперенос в направлении электрода реагентов**
- **Перенос заряда через границу электрод-раствор электролита**
- **Массоперенос продуктов реакции в направлении от электрода в раствор**
- **Перестройка ионной атмосферы и лигандов**
- Образование радикала под действием кванта света
- Перенос электрона от катода к аноду
- Перенос иона от анода к катоду

19. Выберите верный ответ.

Высокие электропроводности водных растворов кислот и щелочей связаны с

- особым строением молекул воды, что увеличивает подвижности протона и гидроксид-иона, согласно теории химической связи
- особым механизмом диссоциации кислот и оснований, согласно кислотной теории Бренстеда
- **особым механизмом проводимости протона и гидроксид-иона в воде, состоящем в перескоке протона по водородным связям от молекулы к молекуле воды, согласно теории Гротгуса**

20. Выберите верный ответ.

Если на катоде электролизера идет восстановление протонов из раствора кислоты, то силы миграции и диффузии, действующие на перенос этих ионов в растворе будут

- разнонаправлены: миграция от электрода, диффузия к электроду
- разнонаправлены: миграция к электроду, диффузия от электрода
- **однаправленны: миграция и диффузия к электроду**
- однаправленны: миграция и диффузия от электрода

21. Выберите верный ответ.

Уравнение плотности кинетического тока обратимой реакции записывается как

- $i = i_o \left[-\exp\left(\frac{\alpha_c n F \eta}{RT}\right) + \exp\left(\frac{\alpha_a n F \eta}{RT}\right) \right]$
- $i_o = n F k_o c_{O,\infty}^{1-\alpha} c_{R,\infty}^\alpha$
- $i = i_o \left[\exp\left(\frac{\alpha n F \eta}{RT}\right) \right]$

22. Выберите верный ответ.

Электролизер — это устройство, составленное из двух электронных проводников в контакте с одним и более электролитом, в котором

- **под действием внешнего электрического поля протекают окислительно-восстановительные реакции на электродах**
- энергия самопроизвольной химической реакции преобразуется в электрическую
- запасается электрическая энергия от внешнего электрического поля

23. Выберите верный ответ.

Единица измерения А·ч эквивалентна:

- **3600 А·с**
- 3600 В/с
- А·с/Дж
- Дж/А·с

24. Выберите верный ответ.

Для выделения 1 кг водорода электролизом воды при постоянной силе тока в 10 А потребуется примерно

- **112 дней**
- 2000 ч
- 1000000 с

25. Рассчитайте максимальные теоретические энергозатраты на образование 100 г водорода электролизом воды. При решении используйте теоретическую величину ЭДС реакции разложения воды при 298 К.

Запишите числовой ответ в Дж:

Ключ: 11900000

26. Выберите верный ответ.

Напряжение (в В) единичного элемента в батарее из 16 последовательно соединенных источников тока общим напряжением 25В без учета потерь составит

- **1.56**
- 1.78
- 25

Образцы оценочных средств для оценки сформированности промежуточных результатов

Спецификация

Цель теста: оценить сформированность знаний к МДК «Водород и его получение электролизным способом» и «Устройство современных электролизеров для производства водорода и использование электролизного водорода».

Знания, умения в соответствии с требованиями к квалификации, на соответствие которым проводится оценка квалификации	Критерии оценки квалификации		Тип и номер задания
	единица содержания	баллы	
32. Знает основные свойства, области применения водорода и способы его получения, место электролизного производства водорода среди этих способов	Знает физические свойства водорода	1	<u>Задание 1</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает химические свойства водорода	1	<u>Задание 2</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает способы получения водорода	1	<u>Задание 3</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает место электролизного производства водорода среди известных способов получения	1	<u>Задание 4</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
33. Знает основные типы электролизеров для получения водорода, состав и строение МЭБ твердополимерных и твердооксидных электролизеров (ТПЭ и ТОЭ)	Знает отличия разных типов электролизеров для получения водорода	1	<u>Задание 5</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает конструкционные особенности современных электролизеров	1	<u>Задание 6</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает состав МЭБ твердополимерных электролизеров	1	<u>Задание 7</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает строение МЭБ твердополимерных электролизеров	1	<u>Задание 8</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает состав МЭБ твердооксидных электролизеров	1	<u>Задание 9</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает строение МЭБ твердооксидных электролизеров	1	<u>Задание 10</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
34. Знает основные материалы, используемые в ТПЭ и ТОЭ, перечень требований к ним и перечень параметров для оценки работы электролизеров.	Знает материалы, используемые в МЭБ ТПЭ	1	<u>Задание 11</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
		1	<u>Задание 12</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
		1	<u>Задание 13</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает параметры оценки работы ТПЭ	1	<u>Задание 14</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов

	Знает причины деградации материалов ТПЭ	1	<u>Задание 15</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает материалы, используемые в МЭБ ТОЭ	1	<u>Задание 16</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
		1	<u>Задание 17</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает требования к материалам ТОЭ	1	<u>Задание 18</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает параметры оценки работы ТОЭ	1	<u>Задание 19</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает причины деградации материалов ТОЭ	1	<u>Задание 20</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
35. Знает алгоритм работы с базами поиска научно-технической литературы.	Знает базы поиска научно-технической литературы	1	<u>Задание 21</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Определяет ключевые слова для поиска	1	<u>Задание 22</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает порядок действий при работе с базами поиска научной литературы	1	<u>Задание 23</u> открытого типа с выбором правильной последовательности
37. Знает требования к оформлению технического задания в соответствии с ГОСТ 19.201-78 ЕСПД	Знает требования ГОСТ 19.201-78 ЕСПД	1	<u>Задание 24</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов

Требования к условиям процедуры тестирования.

Обучающимся предоставляется доступ к персональному компьютеру с тестовым заданием (html5-формат). Тестовое задание организовано в окне плеера с кнопкой управления «Далее» и навигатором-оглавлением по списку вопросов, дающим возможность выбора вопроса. Ответ на все вопросы теста является обязательным. После выбора или ввода ответа надо нажать кнопку «далее», после чего показывается окно-индикатор, со сведениями о правильном или неправильном прохождении данного пункта задания. Верный ответ не показывается. Для успешного прохождения тестового задания необходимо набрать 80% правильных ответов. На прохождение всего теста дается две попытки.

Помещение:	Особых требований нет
Оборудование:	Персональный компьютер
Инструменты:	Google Chrome версия 106.0.5249.103 или выше
Расходные материалы:	—
Доступ к дополнительным инструкциям и справочным материалам:	нет
Норма времени:	1 час

Требования к кадровому обеспечению оценки

Оценщик (эксперт):	Высшее образование в естественно-научной сфере
Ассистент:	Особых требований нет

Инструкция по подсчету баллов

Вывод эксперта о сформированности знаний делается на основании суммарного процента верных ответов (всего 24 балла – 100%) в следующей таблице.

Итоговая оценка	дата	эксперт
Процент правильных ответов	Отметка	
0-79	Образовательный результат не сформирован (неудовлетворительно)	
80-85	Образовательный результат частично сформирован (удовлетворительно)	
86-95	Образовательный результат в целом сформирован (хорошо)	
96-100	Образовательный результат полностью сформирован (отлично)	

Инструмент оценки

Инструкция: Откройте тестовое задание и выполняйте его последовательно, следуя инструкции каждого пункта задания. Задания предусматривают выбор верного ответа или ввод верного ответа. Выбор или ввод ответа является обязательным. После выбора или ввода ответа надо нажать кнопку «далее», после чего Вам будет показан индикатор, свидетельствующий о правильном или неправильном прохождении данного пункта задания. Пользуясь навигатором-оглавлением, Вы можете перемещаться между вопросами задания. Для успешного прохождения тестового задания необходимо набрать 80% правильных ответов. Каждое тестовое задание оценивается в 1 балл. На прохождение всего теста дается две попытки.

Пример тестового задания:

Ключи выделены жирным.

1. Выберите верный ответ.

Сколько изотопов у водорода?

- один
- два
- три**
- четыре

2. Выберите верный ответ.

Основной метод производства энергии из водорода

- сжигание кислородом воздуха
- окисление в топливных элементах**
- горение в кислороде

3. Выберите верный ответ.

Наименее экологичным является производство водорода методом

- паровой конверсии метана;
- пиролиза метана;
- газификации угля;**
- электролиза воды.

4. Выберите верный ответ.

Основным достоинством электролизеров со щелочным электролитом является

- Дешевизна и отработанность технологий**
- Низкие потребности в обслуживании
- Высокая чистота получаемого водорода
- Высокий электрический КПД получения водорода

5. Выберите верный ответ.

Какой тип электролизеров наиболее эффективен?

- Щелочные
- Твердооксидные**
- Твердополимерные

6. Выберите верный ответ.

В современных электролизерах используются тип конструкции и схема включения в цепь с

- монополярными электродами
- биполярными электродами**
- изолирующими стеклами

7. Выберите верный ответ.

В состав мембранно-электродного блока твердополимерного электролизера не входит

- Газожидкостный диффузионный слой
- Биполярная (монополярная) пластина**
- Каталитический слой
- Ионпроводящий материал

8. Выберите верный ответ.

Мембранно-электродный блок твердополимерного электролизера имеет тип строения

- Трубчатый
- Планарный**
- Микротрубчатый

9. Выберите верный ответ.

В состав мембранно-электродного блока твердооксидного электролизера не входит

- Электролит;
- Анод;
- Катод;
- Коммутационный материал**

10. Выберите верный ответ.

В каком из типов конструкции ячейки твердооксидного электролизера обеспечивается условие минимизации омических потерь?

- Электролит-несущая;
- Электрод-несущая**

- Коммутационный материал-несущая

11. Выберите верный ответ

На аноде электролизеров с полимерным электролитом используются катализаторы на основе

- платины
- **иридия**
- никеля

12. Выберите верный ответ.

В качестве электролита в электролизерах с полимерным электролитом используются

- **Перфторированные сульфированные полимеры**
- Сульфированные полимеры на основе полистирола
- Перфторированные полимеры с четвертичными азогруппами
- Сульфированные полимеры с сопряженными связями

13. Выберите верный ответ.

Какое из требований не относится к материалу полимерного электролита электролизера?

- Высокий уровень ионной проводимости;
- **Высокий уровень смешанной электронно-ионной проводимости;**
- Стабильность в окислительной и восстановительной атмосферах;
- Стабильность при повышенной температуре

14. Выберите верный ответ.

Что из нижеперечисленного не относится к функциям поля потока, которые будут определяться конструкцией твердополимерного электролизера?

- Равномерное распределение воды по пространству электрода
- Отвод образующийся газов к выходу
- Подвод электричества в зону реакции
- **Разделение водорода и кислорода**
- Равномерное распределение температуры.

15. Выберите верный ответ.

Какой слой мембранно-электродного блока твердополимерного электролизера деградирует быстрее всего?

- Катодный каталитический
- Катодный газодиффузионный
- **Анодный каталитический**
- Анодный диффузионный

16. Выберите верный ответ.

Какой из перечисленных материалов не относится к катодному материалу мембранно-электродного блока твердооксидного электролизера?

- LaSrCoO₃
- LaSrMnO₃
- **LaSrTiO₂**
- LaSrCoFeO₃

17. Выберите верный ответ.

Какой из перечисленных материалов относится к материалу электролита твердооксидного электролизера?

- LSC

- YSZ
- LSM
- CuGDC

18. Выберите верный ответ.

Какое из требований к материалам для электролизеров обязательно только для случая твердооксидных электролизеров?

- химическая и физическая стабильность в соответствующем химическом окружении (окисление или восстановление);
- **схожие коэффициенты термического расширения**
- химическая совместимость с другими компонентами;
- инертность по отношению к другим компонентам

19. Выберите все верные ответы.

К факторам, обуславливающим рост омического сопротивления твердооксидного электролизера, относят

- **Отслоение электродов;**
- Появление кроссовера топлива через мембрану
- **Появление непроводящих оксидных фаз;**
- **Нарушение контакта с токосъёмом;**
- Появление электронной проводимости в электролите

20. Выберите все верные ответы.

К факторам, обуславливающим деградацию микроструктуры электродов твердооксидного электролизера, относят

- **Агломерацию фаз в составе композитного электрода;**
- Хемосорбцию CO на поверхности электрода
- **Отравление летучими соединениями хрома;**
- Восстановление оксидов в составе электрода
- «Зауглераживание» электродов

21. Выберите все верные ответы.

К базам поиска научной литературы относятся

- **www.scirus.com**
- **Scholar.google.com**
- AOL Search
- Baidu
- **SciGuide**

22. Выберите все верные ответы

Ключевые слова, подходящие для поиска параметров электрохимических реакций в твердополимерном электролизере, это

- **PEM electrolyzer**
- SOE parameters
- **CV parameters of MEA for PEM electrolyzer**
- **Hydrogen evaluation parameters in PEM cells**
- CV parameters for PEM fuel cells
- CV parameters for SOE fuel cells
- Geometry of PEM electrolyzer
- Geometry of SOE electrolyzer
- Anode for PEM electrolyzer
- Anode for SOE electrolyzer

- Mass transport in PEM electrolyzer
- Mass transport in SOE electrolyzer
- **Kinetics of electrode processes in PEM electrolyzer**
- Kinetics of electrode processes in SOE electrolyzer

23. Расставьте действия по поиску статей в базе поиска научной литературы в правильном порядке.

Запишите номера выбранной последовательности в строчку через запятую:

- 1) Выбор временного интервала поиска
- 2) Выбор ключевых слов для поиска
- 3) Выбор параметров и характеристик электролизеров из выбранных статей
- 4) Выбор статей, содержащих максимально подробное описание мембранно-электродного блока электролизера и его параметров
- 5) Составление таблицы анализируемых параметров и характеристик электролизного модуля

Ключ: 5, 2, 1, 4, 3

24. Выберите все верные ответы.

К разделам, которые должны входить в техническое задание в соответствии с ГОСТ 19.201-78 ЕСПД, относятся

- реферат;
- **введение;**
- **основания для разработки;**
- **назначение разработки;**
- **требования к программе или программному изделию;**
- **требования к программной документации;**
- требования к эскизно-конструкторской документации;
- **технико-экономические показатели;**
- **стадии и этапы разработки;**
- **порядок контроля и приемки;**
- заключение

Образцы оценочных средств для оценки сформированности промежуточных результатов

Спецификация

Цель теста: оценить сформированность умений к МДК «Устройство современных электролизеров для производства водорода и использование электролизного водорода».

Знания, умения в соответствии с требованиями к квалификации, на соответствие которым проводится оценка квалификации	Критерии оценки квалификации		Тип и номер задания
	единица содержания	баллы	
У2. Умеет искать научно-технические источники информации в научной базе поиска и выделять в них параметры, характеристики функциональных элементов и состава МЭБ электролизеров для получения водорода из воды	Формулирует ключевые слова для поиска	1	<u>Задание 1</u> открытого типа с заданными ограничениями
	Находит научно-технические источники информации в научной базе поиска	1	<u>Задание 2</u> открытого типа с заданными ограничениями
	Находит в научно-технических источниках информации параметры и характеристики МЭБ электролизеров	1	<u>Задание 3</u> открытого типа с заданными ограничениями
У3. Умеет составлять по найденным в научно-технических источниках информации сведениям базу данных для моделирования МЭБ электролизеров для получения водорода из воды	Составляет по найденным в научно-технических источниках информации сведениям базу данных для моделирования МЭБ электролизеров	10	<u>Задание 4</u> открытого типа с заданной структурой ответа
У4. Умеет определять цель и задачи, формулировать результаты научно-исследовательской работы по цифровому моделированию МЭБ электролизера	Определяет цель научно-исследовательской работы по цифровому моделированию МЭБ электролизера	1	<u>Задание 5</u> открытого типа с заданными ограничениями
	Определяет задачи научно-исследовательской работы по цифровому моделированию МЭБ электролизера	1	<u>Задание 6</u> открытого типа с заданными ограничениями
	Формулирует результаты научно-исследовательской работы по цифровому моделированию МЭБ электролизера	1	<u>Задание 7</u> открытого типа с заданными ограничениями
У5. Умеет выделять этапы моделирования и формулировать требования к результату моделирования	Выделяет этапы моделирования	10	<u>Задание 8</u> открытого типа с заданной структурой ответа
	Формулирует требования к результату моделирования	1	<u>Задание 9</u> открытого типа с заданными ограничениями

Требования к условиям процедуры тестирования.

Обучающимся предоставляется доступ к персональному компьютеру с тестовым заданием (html5-формат). Тестовое задание организовано в окне плеера с кнопкой управления «Далее» и навигатором-оглавлением по списку вопросов, дающим возможность выбора вопроса. Ответ на все вопросы теста является обязательным. После выбора или ввода ответа надо нажать кнопку «далее». Для

успешного прохождения тестового задания необходимо набрать 80% правильных ответов. На прохождение всего теста дается одна попытка.

Требования к процедуре оценки

Помещение:	Особых требований нет
Оборудование:	Персональный компьютер
Инструменты:	Microsoft Word 2007 или выше, Google Chrome версия 106.0.5249.103 или выше база поиска научной литературы Google Академия https://scholar.google.com/schhp?hl=en-US
Расходные материалы:	–
Доступ к дополнительным инструкциям и справочным материалам:	ГОСТ 19.201-78 ЕСПД
Норма времени:	2 часа

Требования к кадровому обеспечению оценки

Оценщик (эксперт):	Ученая степень кандидата или доктора наук, наличие научных статей за последние 5 лет в области электрохимических устройств преобразования энергии
Ассистент:	Высшее образование.

Инструкция по подсчету баллов

Вывод эксперта о готовности испытуемого к обучению по программе курса делается на основании суммарного процента верных ответов (всего 27 баллов – 100%) в следующей таблице.

Итоговая оценка		дата	эксперт
Процент правильных ответов	Отметка		
0-79	Образовательный результат не сформирован		
80-100	Образовательный результат сформирован		

Инструмент оценки

Пример тестового задания:

- Сформулируйте 5 ключевых слов для поиска в базе данных научно-технической литературы статей, содержащих информацию о составе и геометрии мембранно-электродного блока твердооксидного электролизера получения водорода из воды.

Ответ запишите в строчку через запятую.

Инструмент проверки к заданию 1.

Критерий оценки	Оценка, 1\0
Сформулировано 5 ключевых слов	
В ключевых словах встречаются слова solid oxide electrolysis cell или SOE	
В ключевых словах встречается слово geometry	
В ключевых словах встречаются слова anode и cathode	

Вывод эксперта о выполнении задания делается на основе суммирования баллов в таблице:

Оценка за задание

Баллы	Отметка
0-3	Задание не выполнено - 0
4	Задание выполнено - 1

2. Найдите в базе поиска научной литературы Google Академия <https://scholar.google.com/schhp?hl=en-US> 4 статьи, отвечающие всем приведенным ниже ключевым словам:

Polymer electrolyte electrolysis cell,
 Electrochemical parameters of MEA PEM electrolysis cell,
 Flow channel geometry of polymer electrolyte electrolysis cell

Глубину поиска ограничьте 2008 годом. Скопируйте библиографические данные выбранных статей в строку ввода через точку с запятой.

Инструмент проверки к заданию 2.

Критерий оценки	Оценка, 1\0
Найдено 4 статьи	
Все статьи относятся к твердополимерным электролизерам для получения водорода	
Все статьи вышли после 2008 года	
Во всех статьях есть информация о геометрии проточных каналов	

Вывод эксперта о выполнении задания делается на основе суммирования баллов в таблице:

Оценка за задание	
Баллы	Отметка
0-3	Задание не выполнено - 0
4	Задание выполнено - 1

3. Найдите все геометрические параметры твердополимерного электролизера, используемые для моделирования в статье **Daniela Fernanda Ruiz Diaz, Edgar Valenzuela, Yun Wang. A component-level model of polymer electrolyte membrane electrolysis cells for hydrogen production // Applied Energy, Volume 321, 2022, p. 119398 (Источник 1)**

Ответ запишите в свободной форме с указанием размерностей величин найденных геометрических параметров.

Инструмент проверки к заданию 3.

Критерий оценки	Оценка, 1\0
Найдено 5 величин: активная площадь, размер пор, толщина мембраны, толщина пористого слоя, пористость пористого слоя	
Записаны размерности величин	

Вывод эксперта о выполнении задания делается на основе суммирования баллов в таблице:

Оценка за задание	
Баллы	Отметка
0-1	Задание не выполнено - 0
2	Задание выполнено - 1

4. Используя данные статьи

Ni M., Leung M. K. H., Leung D. Y. C. Technological development of hydrogen production by solid oxide electrolyzer cell (SOEC) //International journal of hydrogen energy. – 2008. – Т. 33. – №. 9. – С. 2337-2354. (источник 1),

составьте базу данных для описания геометрии и свойств мембранно-электродного блока электролизера, заполнив таблицу:

Параметр	Результат
Рабочая температура твердооксидного электролизера, °C (K)	
Рабочее давление твердооксидного электролизера, атм	
Пористость электрода	
Извитость электрода	
Средний радиус пор, мкм	
Ионная проводимость твердого электролита от температуры	
Плотность тока обмена на катоде, А/м ²	
Плотность тока обмена на аноде, А/м ²	
Тип конструкции МЭБ твердооксидного электролизера	
Толщина анода, мкм	
Толщина электролита, мкм	
Толщина катода, мкм	
Геометрические параметры МЭБ (длина-ширина-толщина) см	

Ключ:

Рабочая температура твердооксидного электролизера, °C (K)	800 (1073)
Рабочее давление твердооксидного электролизера, атм	1
Пористость электрода	0.4
Извитость электрода	5
Средний радиус пор, мкм	0.5
Ионная проводимость твердого электролита от температуры	$3.34 \times 10^4 \exp(-10300/T)$
Плотность тока обмена на катоде, А/м ²	5300
Плотность тока обмена на аноде, А/м ²	5300
Тип конструкции МЭБ твердооксидного электролизера	Анод-несущая
Толщина анода, мкм	500
Толщина электролита, мкм	50
Толщина катода, мкм	50
Геометрические параметры МЭБ (длина-ширина-толщина) см	10x10x0.06

5. Составьте цель технического задания на моделирование мембранно-электродного блока твердооксидного электролизера воды трубчатого типа состава Ni/YSZ//YSZ//GDC//GDC/LSCF, работающего при температурах 500-1000°С. Ответ запишите в свободной форме.

Инструмент проверки к Заданию 5.

Критерий оценки	Оценка, 1\0
Цель работы включает указание на вид осуществляемой деятельности в рамках техзадания (построение цифровой модели)	
Цель работы включает полное описание моделируемой системы	
Цель работы включает указание на результат моделирования	

Формулировка цели организована в последовательности: вид осуществляемой деятельности, описание моделируемой системы, результат моделирования	
--	--

Вывод эксперта о выполнении задания делается на основе суммирования баллов в таблице:

Оценка за задание	
Баллы	Отметка
0-3	Задание не выполнено - 0
4	Задание выполнено - 1

6. Составьте перечень задач для техзадания на моделирование мембранно-электродного блока твердооксидного электролизера воды трубчатого типа состава Ni/YSZ//YSZ//GDC//GDC/LSCF, работающего при температурах 500-1000°C.

Ответ запишите в виде пунктов 1, 2, 3 и т.д.

Инструмент проверки к Заданию 6.

Критерий оценки	Оценка, 1\0
Сформулировано не менее 6 задач	
В задачи входит определение геометрии модели	
В задачи входит определение исходных параметров цифровой модели	
В задачи входит выбор моделируемых параметров	
В задачи входит выбор уравнений для описания моделируемых процессов	
В задачи входит построение цифровой модели	
В задачи входит проверка расчетной способности модели	
В задачи входит оптимизация каких-либо параметров электролизера (геометрия, температура, давление)	

Вывод эксперта о выполнении задания делается на основе суммирования баллов в таблице:

Оценка за задание	
Баллы	Отметка
0-6	Задание не выполнено - 0
7-8	Задание выполнено - 1

7. Сформулируйте результат, который должен быть получен в результате выполнения техзадания на моделирование мембранно-электродного блока твердооксидного электролизера воды трубчатого типа состава Ni/YSZ//YSZ//GDC//GDC/LSCF, работающего при температурах 500-1000°C, при оптимизации температуры работы. Ответ запишите в свободной форме.

Инструмент проверки к Заданию 7.

Критерий оценки	Оценка, 1\0
Результат включает построение двумерной (2D) модели электролизера	
Результат включает оптимизацию температуры	
Результата включают описание состава и конструкции электролизера	

Вывод эксперта о выполнении задания делается на основе суммирования баллов в таблице:

Оценка за задание	
Баллы	Отметка
0-2	Задание не выполнено - 0
3	Задание выполнено - 1

8. Изучите предлагаемое описание работ, составленное при разработке цифровой модели мембранно-электродного блока твердооксидного электролизера воды трубчатого типа состава Ni/YSZ//YSZ//GDC//GDC/LSCF, работающего при температурах 500-1000 °С (источник 1).

Разделите работы, перечисленные в *Источнике 1*, на этапы, заполнив бланк.

Источник 1:

«Оптимизация геометрических параметров мембранно-электродного блока, давления воды и рабочей температуры. Выбор уравнений для описания процессов, проходящих на аноде и катоде (электрохимические реакции) и их термодинамических параметров, расчета полей тока и потенциала в мембранно-электродном блоке, выбор уравнений для описания свободных течений и течений в пористой среде, выбор уравнений для расчета теплопередачи, выбор модели реального газа. Построение геометрической модели твердооксидного электролизера воды трубчатого типа, с учетом параметров базы данных (толщина анодного ГДС, толщина катодного ГДС, толщина электролита, длина трубчатого МЭБ, внутренний радиус трубчатого МЭБ). Проведение первичных расчетов с получением вольтамперной характеристики. Валидация модели и анализ на сеточную сходимость. Построение математической модели и ее настройка с учетом полученных исходных данных для моделирования по параметрам использованных материалов (электропроводности, пористости, проницаемости, активности, теплоемкости, вязкости, плотности и др.).»

Бланк

Номер этапа	Описание работ

Ключ:

Номер этапа	Описание работ
1.	<i>Построение геометрической модели твердооксидного электролизера воды трубчатого типа, с учетом параметров базы данных (толщина анодного ГДС, толщина катодного ГДС, толщина электролита, длина трубчатого МЭБ, внутренний радиус трубчатого МЭБ).</i>
2.	<i>Выбор уравнений для описания процессов, проходящих на аноде и катоде (электрохимические реакции) и их термодинамических параметров, расчета полей тока и потенциала в мембранно-электродном блоке, выбор уравнений для описания свободных течений и течений в пористой среде, выбор уравнений для расчета теплопередачи, выбор модели реального газа.</i>
3	<i>Построение математической модели и ее настройка с учетом полученных исходных данных для моделирования по параметрам использованных материалов (электропроводности, пористости,</i>

	<i>проницаемости, активности, теплоемкости, вязкости, плотности и др.).</i>
4	<i>Проведение первичных расчетов с получением вольтамперной характеристики. Валидация модели и анализ на сеточную сходимость.</i>
5	<i>Оптимизация геометрических параметров мембранно-электродного блока, давления воды и рабочей температуры</i>

9. Сформулируйте и запишите все требования к результату моделирования твердооксидного электролизера воды трубчатого типа на основе оксидных материалов Ni/YSZ//YSZ//GDC//GDC/LSCF, работающего при температурах 500-1000°C, с оптимизацией его геометрических параметров:

Инструмент проверки к заданию 9.

Критерий оценки	Оценка, 1\0
Сформулировано не менее 5 требований	
Требования включают соответствие геометрической модели, используемой при моделировании, геометрии электролизера по условию задачи	
Требования включают валидацию вольтамперных характеристик	
Требования включают оптимизацию рабочей температуры	
Требования включают оптимизацию давления подаваемой воды	
Требования включают оптимизацию геометрических параметров МЭБ	

Вывод эксперта о выполнении задания делается на основе суммирования баллов в таблице:

Оценка за задание	
Баллы	Отметка
0-5	Задание не выполнено - 0
6	Задание выполнено - 1

Учебно-методические материалы для обучающихся

Для выполнения практических заданий рекомендуется составлять опорные конспекты с формулами и определениями по лекционному материалу, что повысит степень усвоения материала, позволит сформулировать вопросы, требующие консультации преподавателя

При выполнении самостоятельных работ рекомендуется оформлять решение так, чтобы упростить проверку. Все вопросы, возникающие в ходе составления конспектов и оформления результатов самостоятельных и практических работ следует записывать для обсуждения на практических и лекционных занятиях, консультациях с преподавателем.

Для подробного ознакомления с ГОСТ 19.201-78 ЕСПД можно использовать прилагаемые материалы.

Полный перечень учебных материалов к ПМ 01, согласно таблице 2.2, приведен в Приложении 6.

Методические материалы для преподавателя

При подготовке теоретических занятий рекомендуется составлять презентационный материал к лекциям и практическим занятиям, следуя следующим требованиям:

1. Фон презентаций – светлый (белый). Рекомендуемый шрифт Arial или Calibri, цвет основного текста черный, выделяемых определений, терминов – красный или синий, полужирный. Заголовки слайдов рекомендуется выделять цветом и полужирным шрифтом, не используя capslock, а увеличивая размер шрифта (не более 36 кегль). Не рекомендуется использовать более 2 шрифтов на презентацию, а также использовать более 3 цветов шрифта. Значения цветов должны быть постоянны. Ссылки на иллюстрации и прочие заимствованные материалы можно указывать серым цветом.

2. Основное содержание слайда должно находиться в центре внимания, абзацы текста не должны быть большими, что облегчает зрительное восприятие материала. Желательно использование интерактивных схем, таблиц, графиков, списков. При построении лекций приветствуется подача материала в виде моделирования реальных ситуаций с возможностью выбора обучающимся одной из предложенных траекторий поведения, с получением обратной связи о правильности сделанного выбора.

3. Все иллюстрации, используемые при оформлении слайдов, должны быть выдержаны в едином стиле и иметь высокую четкость изображения. Использование иллюстраций не должно нарушать авторские права третьих лиц.

4. Любая анимация, требующая предельно точной скорости воспроизведения, не должна зависеть от параметров компьютера пользователя.

Рекомендуется заготовить и периодически обновлять список вопросов для таких занятий, которые можно использовать для проведения дискуссии с обучающимися, для обеспечения интерактивности образовательного процесса.

При контроле выполнения студентами практических и самостоятельных заданий следует обращать внимание не только на результат расчета, но и следить за структурой расчета, правильностью использования формул и написания уравнений. Обязательным является подготовка нескольких вариантов практических заданий (вариация) для обеспечения индивидуального выполнения таких заданий.

При оценке сформированности ПК по данному модулю рекомендуется использовать следующие критерии:

По деятельности «Формировать исходную базу данных для цифровых расчетов мембранно-электродных блоков электролизеров, включающую систему исходных параметров, свойства используемых материалов, характеристики мембранно-электродных блоков, предварительные термодинамические расчеты»

Критерий оценки	Показатель	Оценка, 1\0
Ключевые слова позволяют отобрать источники научно-технической литературы, максимально приближенные к заданию	1*	
Источники заимствованы из системы поиска научной литературы	2*	
БД содержит правдоподобную информацию о физико-химических свойствах используемых в мембранно-электродном блоке материалов	3	
БД содержит правдоподобную информацию о геометрических характеристиках мембранно-электродного блока	3	
БД содержит правдоподобную информацию о физических характеристиках мембранно-электродного блока	3	

БД содержит правдоподобную информацию о химических характеристиках мембранно-электродного блока	3	
Заданные ячейки заполнены полностью, данные правдоподобны	3*	
Приведены данные не менее чем по 9 дополнительным позициям, важным для составления технического задания**	3	
Приведены данные не менее чем по 10-14 дополнительным позициям, важным для составления технического задания**	3	
Приведены результаты термодинамических расчетов ЭДС и теплового эффекта реакции в электролизере	4	
Результаты термодинамических расчетов ЭДС и теплового эффекта реакции в электролизере корректны	4	
Сведения, содержащиеся в базе данных, позволяют сформировать техзадание для построения расчетной модели мембранно-электродного блока электролизера	5	
Сведения, содержащиеся в базе данных, достаточны для формирования техзадания для построения расчетной модели мембранно-электродного блока электролизера	5	

Знаком «» отмечены критерии, при несоответствии которым проверка прекращается с отрицательным для соискателя результатом.

** Дополнительные позиции

- Тип и толщина/пористость биполярной пластины
- Тип и толщина прокладки
- Угол смачивания диффузионного слоя
- Газопроницаемость мембраны
- Проницаемость катодного каталитического слоя
- Пористость катодного каталитического слоя
- Угол смачивания катодного каталитического слоя
- Ионная проводимость катодного каталитического слоя
- Электронная проводимость катодного катслоя
- Проницаемость анодного каталитического слоя
- Пористость анодного каталитического слоя
- Угол смачивания катодного каталитического слоя
- Ионная проводимость анодного каталитического слоя
- Электронная проводимость анодного катслоя

Вывод эксперта о готовности испытуемого к выполнению трудовой функции об освоении трудовой функции фиксируется для каждого обучающегося в следующей таблице.

Итоговая оценка		дата	эксперт
Баллы	Отметка		
0-10	Компетенция не сформирована		
12-13	Компетенция сформирована		

По деятельности «Формировать техническое задание на моделирование мембранно-электродных блоков электролизера»

Критерий оценки	Показатель	Оценка, 1\0
Тема и цель технического задания соответствуют поставленной задаче и сформулированы с указанием типов функциональных элементов и материалов, используемых в мембранно-электродном блоке электролизера	1*	

Текст техзадания содержит перечень материалов, необходимый для построения цифровой модели и их характеристики	2	
Текст техзадания содержит уравнения реакций процессов на катоде и аноде (с учетом стехиометрии) и их характеристики, необходимые для построения цифровой модели	2	
Текст техзадания содержит геометрические характеристики мембранно-электродного блока и его функциональных элементов, необходимые для построения цифровой модели	2	
Приведенные в тексте техзадания характеристики используемых материалов, стехиометрические уравнения реакций процессов на катоде и аноде, устройство и геометрия мембранно-электродного блока достаточны для последующего моделирования	2	
Описание требуемого результата расчетов обозначено в виде конкретных рассчитываемых выходных характеристик мембранно-электродного блока	3	
Описание требуемого результата расчетов обозначено в виде конкретных электрохимических или физико-химических зависимостей выходных характеристик мембранно-электродного блока	3	
Приведенное описание требуемого результата расчетов правдоподобно и соответствует обычно определяемым характеристикам	3	
Структура ТЗ выдержана в соответствии с требованиями ГОСТ 19.201-78 ЕСПД	4*	

Знаком «» отмечены критерии, при несоответствии которым проверка прекращается с отрицательным для соискателя результатом.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр проблем химической физики
и медицинской химии Российской академии наук



УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора ФИЦ ПХФ и МХ РАН

/ Казакова А.В. /

« 7 » июня 2023 г.

**ПРОГРАММА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ
«Цифровое моделирование мембранно-электродного блока
электролизера в COMSOL Multiphysics»**

2023 г.

Программа предназначена для повышения квалификации и (или) профессиональной переподготовки специалистов по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам, специалистов по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, специалистов по компьютерному проектированию технологических процессов, специалистов по испытаниям инновационной продукции наноиндустрии, специалистов в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области материаловедения и технологии материалов, специалистов в области технологического обеспечения полного цикла производства объемных нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них, специалистов по проектированию изделий из наноструктурированных композиционных материалов, специалистов по технологии в области производства продукции с применением наноструктурированных катализаторов и инженерно-технических работников предприятий электрохимических производств с целью приобретения ими профессиональных компетенций в области цифрового моделирования функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков современных электролизных модулей получения водорода

Организация-разработчик: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук

Разработчики:

Золотухина Екатерина Викторовна, доктор хим. наук, главный научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Левченко Алексей Владимирович, кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Герасимова Екатерина Владимировна, кандидат хим. наук, старший научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Правообладатель программы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, 142432, г. Черноголовка, проспект академика Семенова, д.1, www.icp.ac.ru, 8(49652)21602

СОДЕРЖАНИЕ

1. Паспорт профессионального модуля	83
2. Структура и содержание профессионального модуля	85
3 Условия реализации программы профессионального модуля	88
4 Контроль и оценка результатов освоения профессионального модуля	92
Приложение 3.1. Образцы оценочных средств для итогового контроля	94
Приложение 3.1.1 Образцы оценочных средств для промежуточного контроля	96
Приложение 3.2. Учебно-методические материалы для обучающихся	105
Приложение 3.3. Методические материалы для преподавателя	106

1. ПАСПОРТ ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ «Цифровое моделирование мембранно-электродного блока электролизера в COMSOL Multiphysics»

1.1. Область применения программы

Профессиональный модуль предназначен для повышения квалификации \ профессиональной переподготовки целевой группы обучающихся специалистов по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам, специалистов по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, специалистов по компьютерному проектированию технологических процессов, специалистов по испытаниям инновационной продукции наноиндустрии, специалистов в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области материаловедения и технологии материалов, специалистов в области технологического обеспечения полного цикла производства объемных нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них, специалистов по проектированию изделий из наноструктурированных композиционных материалов, специалистов по технологии в области производства продукции с применением наноструктурированных катализаторов и инженерно-технических работников предприятий электрохимических производств с целью приобретения ими профессиональных компетенций в области цифрового моделирования функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков современных электролизных модулей получения водорода. Программа профессионального модуля используется в программе «Водородная и электрохимическая энергетика: от материалов до устройств» в части получения следующих результатов:

ПК 2.1 Разрабатывать цифровые модели мембранно-электродных блоков электролизеров и оценивать их расчетную способность, исследовать модель и изменять расчетные параметры для обеспечения требований технического задания

ПК 2.2 Составлять практические рекомендации к техзаданию на изготовление мембранно-электродных блоков электролизеров по результатам моделирования

Данный модуль является инвариантным для обучающихся по программе профессиональной переподготовки «Водородная и электрохимическая энергетика: от материалов до устройств».

Обучающийся по программе магистратуры «Водородная и электрохимическая энергетика» может выбрать данный модуль для построения своей индивидуальной образовательной программы повышения квалификации в области водородных технологий.

Программа профессионального модуля также может быть использована в ООП магистратуры «Нанотехнологии в электрохимическом производстве», «Водородная и электрохимическая энергетика», «Новые энергетические технологии».

1.2. Требования к промежуточным результатам освоения модуля

С целью формирования перечисленных результатов обучающийся в ходе освоения программы модуля должен:

иметь практический опыт:

- составления и оптимизации цифровой модели мембранно-электродного блока электролизера в соответствии с требованиями техзадания;(ОПД3)
 - составления практических рекомендаций к составлению техзадания на изготовление МЭБ электролизера на основании проектного решения (ОПД4)
- уметь:
- составлять и модифицировать цифровую модель МЭБ ТОЭ и ТПЭ в ПО COMSOL Multiphysics (У6);
 - исследовать цифровую модель МЭБ ТОЭ и ТПЭ в ПО COMSOL Multiphysics и проводить ее оптимизацию; (У7)
 - составлять описание проектного решения по созданной цифровой модели МЭБ электролизера и результата проектного решения и представлять в виде презентации; (У8)
 - сопоставлять полученное проектное решение по МЭБ электролизера с экспериментальными данными аналогов; (У9)
 - выделять в полученном проектном решении параметры, необходимые для создания опытного образца электролизера (У10)

знать:

- модули и интерфейсы ПО COMSOL Multiphysics, необходимые для построения цифровой модели МЭБ ТПЭ и ТОЭ; (З8)
- алгоритмы составления цифровой модели МЭБ электролизера, варьируемые параметры, подходы к изменению и оптимизации модели; (З9)
- требования ГОСТ 22487-77 к терминологии; (З10)
- правила составления презентационного материала по результатам моделирования МЭБ электролизера в ПО COMSOL Multiphysics; (З11)
- алгоритм оценки приведенной стоимости водорода, получаемого электролизным способом (З12)

1.3. Количество часов на освоение программы модуля:

всего – **142** часа, в том числе:

обязательной аудиторной учебной нагрузки обучающегося – **20** часов;

самостоятельной работы обучающегося – **100** часов;

практики - **22** часа.

2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ

2.1. Учебно-тематический план профессионального модуля

Наименования элементов ПМ	Всего часов	Обязательная аудиторная учебная нагрузка, часов		Практика, часов	Самостоятельная работа, часов
		всего	в т.ч. практические и лабораторные занятия		
МДК 01 ПО COMSOL Multiphysics для построения цифровых моделей функциональных элементов твердотельных электрохимических устройств	24	12	8		12
Тема 1. ПО COMSOL Multiphysics. Основные модули и их предназначение.	8	4	2		4
Тема 2. Особенности моделирования функциональных элементов электролизеров в ПО COMSOL Multiphysics	16	8	6		8
МДК 02 Оформление проектного решения	8	4	4		4
Тема 1. Оценка экономической эффективности результата проекта.	4	2	0		2
Тема 2. Требования к оформлению научно-технических отчетов и презентация результатов проекта.	4	4	2		2
Практика	58			16	42
Всего:	90	16	12	16	58
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]

2.2. Содержание обучения по профессиональному модулю

Наименование тем	Содержание учебного материала, лабораторные работы и практические занятия, практика, самостоятельная работа обучающихся, проекты	Объем часов	
МДК 01 ПО COMSOL Multiphysics для построения цифровых моделей функциональных элементов твердотельных электрохимических устройств		24	
Тема 1. ПО COMSOL Multiphysics. Основные модули и их предназначение.	Содержание		
	1. ПО COMSOL Multiphysics. Основные модули, интерфейсы и их предназначение. Построение моделей, выбор модулей. Примеры. Алгоритм создания цифровой мультифизической модели.	2	
	Практические занятия		
	1. Разбор назначения 1, 2 и 3D моделей. Разбор использования известных мультифизических пакетов для моделирования	2	
Самостоятельная работа при изучении темы			
1.	Освоение интерфейса программы COMSOL Multiphysics. Построение простейших геометрий.	4	
Тема 2. Особенности моделирования функциональных элементов электролизеров в ПО COMSOL Multiphysics	Содержание		
	1. Особенности моделирования функциональных элементов электролизеров в ПО COMSOL Multiphysics. Основные модули и приближения, применяемые для описания работы мембранно-электродного блока электролизера	2	
	Практические занятия		
	1.	Расчет 1D модели мембранно-электродного блока электролизера	2
	2.	Расчет 2D модели мембранно-электродного блока электролизера	4
	Самостоятельная работа при изучении темы		
1.	Построение 1D геометрии мембранно-электродного блока электролизера по заданным параметрам и ее преобразование в 2D-модель.	2	
2.	Варьирование и оптимизация расчетной сетки, варьирование параметров модели – определение влияния задаваемых параметров и уравнений на конечные результаты моделирования	6	
МДК 02 Оформление проектного решения		8	
Тема 1. Оценка экономической эффективности результата проекта.	Содержание		
	1. Оценка приведенной стоимости на примере электролизера с протонообменной мембраной. Расчетные формулы. Основные понятия и определения формул расчета. Структура капитальных затрат. Материальные и нематериальные компоненты. Структура операционных затрат. Пример расчета	2	

	Самостоятельная работа при изучении темы	
	1	Решение кейсовой задачи оценки приведенной стоимости водорода
	Содержание	
Тема 2. Требования к оформлению научно-технических отчетов и презентация результатов проекта.	1.	Подходы к представлению результатов расчета мембранно-электродного блока электролизера в виде презентации. Структура презентации. Состав введения, сравнение эффективности и производительности ТПЭ и ТОЭ. Схемы процессов. Состав МЭБ и геометрия модели. Формулировка цели и задач. Описание модели. Основные используемые уравнения. Параметры модели. Варьируемые параметры модели. Представление результатов моделирования. Требования к содержанию заключения.
	Практические занятия	
	1.	Построение презентации под кейсовую задачу (файл модели). Сопоставление данных модели с экспериментальными данными
	Самостоятельная работа при изучении темы	
	1.	Оформление презентации по результатам практических работ, включающее поиск-обоснование актуальности работы – файл презентации
Практика в модельной ситуации	Практика: виды работ Выполнение НИР по расчету функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков электролизера в 2D модели по техническому заданию: <ol style="list-style-type: none"> 1. Постановка задачи. Выбор контролируемых и расчетных параметров 2. Поиск исходных параметров для построения цифровой модели 3. Выбор геометрии и уравнений. Построение цифровой модели 4. Пробные расчеты, оптимизация модели 5. Получение итоговых данных. Модификация модели 6. Анализ достоверности полученного решения 7. Формирование отчета по НИР - презентации и доклада 	
Всего:		90

3. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ

3.1. Требования к материально-техническому обеспечению

Реализация программы модуля не предполагает наличия специализированного учебного кабинета при условии соответствия учебных кабинетов санитарным нормам, а его оборудования – изложенным ниже требованиям.

Оборудование учебного кабинета и рабочих мест кабинета:
Включает в себя компьютеры с предустановленным

ПО Comsol Multiphysics плавающая сетевая лицензия (FNL),
включая

Модуль Механика конструкций

Модуль Теплопередача

Модуль Композитные материалы

Модуль Аккумуляторы и топливные элементы

Модуль Оптимизация

CAD Import Module

- Мультимедийный проектор или сенсорная панель (интерактивная доска)

Оборудование организации при постоянном проведении занятий должно включать в себя сервер для распределенных вычислений Forsite RS7-7089-16HS

Технические средства обучения:

Компьютеры, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет и подключенные к международным и российских научным базам данных, с доступом к электронной библиотеке с основными международными научными журналами

Вычислительные мощности:

- Платформа 7U, 8xСокет 3647, 16x2.5" с Горячей-заменой, БП 5x1600W резервирование (96 x DDR4)
- Процессор 8 x 26-ядерный Intel Xeon Platinum 8270 2.7-4.0GHz, 36M, TDP 205W, LGA3647
- Оперативная память 6TB (96x64GB) DDR4 2933Mhz ECC REG PC4-23400
- Видеокарта BMC integrated Aspeed AST2500
- Сопроцессор 6 x Nvidia Tesla V100 (Volta) 32GB HBM2 5120/640 CUDA/Tensor Cores
- Raid-контроллер 12Gb/s SAS/SATA/PCIe (NVMe) RAID 0,1,5,6,10,50,60 + CacheVault flash
- Твердотельные накопители 4 x 4TB Intel P4600 Series Servers SSD PCIe NVMe 3.0 x4 (R:3270MB/s;W:2100MB/s)

- Твердотельные накопители SATA SSD 2 x 240GB Intel S4510 Series Servers SSD SATA 3.0 2.5" (R:560MB/s;W:280MB/s)
- Твердотельные накопители SAS SSD 2 x 960GB Ultrastar DC SS530 Servers SSD SAS 2.5" (R:2150MB/s;W:2120MB/s)
- Встроенный сетевой контроллер 4-port 10GBase-T Ethernet SIOM (Intel® X550 controller)
- Контроллер удаленного управления Интегрированный IPMI 2.0 with KVM and Dedicated LAN

Оборудование должно соответствовать действующим противопожарным правилам и нормам и обеспечивающей проведение всех видов подготовки и работы обучающихся, предусмотренных учебным планом.

Каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечной системе (электронной библиотеке) Ногинского научного центра и к электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) научно-образовательного центра (НОЦ) ИПХФ РАН.

Функционирование электронной информационно-образовательной среды обеспечивается соответствующими средствами информационно-коммуникационных технологий и квалификацией работников, ее использующих и поддерживающих.

Требования к месту проведения практики:

Полученная триал-версия ПО Comsol Multiphysics, установленная на рабочее место (компьютер, ноутбук).

3.2. Информационное обеспечение обучения

Основные источники

1. Козлов С.И. Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы / С.И. Козлов, В.Н. Фатеев. - М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. - 518 с.
2. Подборка видеуроков о численном моделировании в COMSOL [электронный ресурс] // COMSOL. URL: <https://www.comsol.ru/videos> (дата обращения: 29.11.2022)

Дополнительные источники

8. Коровин Н. В., Скундин А. М. Химические источники тока. М.: МЭИ, 2003. — 740 с.
9. Учебные материалы по курсу «ПО COMSOL Multiphysics. Основные модули, интерфейсы и их предназначение». // Утверждены научно-методическим советом ФИЦ ПХФ и МХ РАН 21.06.2022 (на правах рукописи).
3. Архив вебинаров COMSOL [электронный ресурс] // COMSOL. URL: <https://www.comsol.ru/events/webinars> (дата обращения: 29.11.2022)
10. Документация к программе COMSOL [электронный ресурс] // COMSOL. URL: <https://www.comsol.ru/documentation> (дата обращения: 29.11.2022)

3.3. Общие требования к организации образовательного процесса

Организация образовательного процесса

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками, видеороликами. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия. Электронная презентация и видеоролики позволяют отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала. Занятия предусматривают обязательную дискуссию, строящуюся с использованием презентационного материала, программного обеспечения, по вопросам, формируемым аудиторией слушателей и преподавателем, что позволяет закрепить получаемую информацию и связать ее с уже изученными ранее разделами.

Практические занятия подразумевают получение умений по построению модели, ее оптимизации в программной среде COMSOL Multiphysics, с обоснованием параметров модели, расчетной сетки, уравнений, а также обобщению и представлению результатов моделирования в форме презентации.

Самостоятельная работа студентов подразумевает освоение моделирования в программной среде COMSOL Multiphysics, тренировочные расчеты по кейсовым задачам.

В рамках практики студенты при консультации преподавателя выполняют НИР по моделированию состава и функциональных элементов мембранно-электродных блоков электролизеров для получения водорода, оформляют презентацию и готовят доклад по выполненной работе.

Входные требования к обучающимся:

- 33. Знает основные типы электролизеров для получения водорода, состав и строение МЭБ твердополимерных и твердооксидных электролизеров (ТПЭ и ТОЭ)
- 34. Знает основные материалы, используемые в ТПЭ и ТОЭ, перечень требований к ним и перечень параметров для оценки работы электролизеров.
- 35. Знает алгоритм работы с базами поиска научно-технической литературы.
- 36. Знает перечень параметров, влияющих на вольтамперные характеристики электролизеров и уравнения, описывающие кинетику процессов на электродах электролизера

- 37. Знает требования к оформлению технического задания в соответствии с ГОСТ 19.201-78 ЕСПД

О сформированности знаний судят по результатам промежуточного контроля ПМ01, с использованием ФОС ПМ 01.

3.4. Кадровое обеспечение образовательного процесса

Реализация программы обеспечивается научно-педагогическими работниками, имеющими ученую степень и публикации в ведущих отечественных и/или зарубежных рецензируемых научных журналах и изданиях, осуществляющими самостоятельную научно-исследовательскую деятельность осуществляющими самостоятельную научно-исследовательскую деятельность в течение последних 5 лет в области электрохимических устройств преобразования энергии и моделирования электрохимических устройств

Квалификация научно-педагогических работников организации соответствует квалификационным характеристикам, установленным в Едином квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов и служащих, раздел "Квалификационные характеристики должностей руководителей и специалистов высшего профессионального и дополнительного профессионального образования", утвержденном приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 11 января 2011 г. № 1н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 23 марта 2011 г., регистрационный № 20237), и профессиональным стандартам.

4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ

Образовательное учреждение, реализующее программу профессионального модуля, обеспечивает организацию и проведение текущего и промежуточного контроля демонстрируемых обучающимися знаний, умений и полученного ими опыта практической деятельности.

Текущий контроль проводится преподавателем на основе оценивания результатов практической работы обучающихся.

Промежуточный контроль проводится после завершения каждого МДК с оценкой знаний и умений, сформировавшихся у каждого обучающегося. Знания, сформированные по итогам МДК 01 и 02 проверяются совокупно по заданиям, примеры которых приведены в ФОС ([Приложение 3.1.1](#)). Умения, сформированные по итогам МДК 01 и МДК 02, проверяются совокупно по итогам выполненных аудиторных практических работ.

Итоговый контроль проводится комиссией преподавателей профессионального модуля и представителей заказчиков (если имеются) на основе оценивания продукта практической деятельности по показателям. По результатам итогового контроля формируется оценочное суждение о достижении образовательных результатов профессионального модуля – профессиональных компетенций \ субкомпетенций в формате: «сформирована\ не сформирована». Оценка проводится на основании заданий и по критериям, приведенным в ФОС ([Приложение 3.1](#)).

Порядок перевода оценочных баллов в оценочное суждение определяется в оценочных средствах.

Формы и методы текущего, промежуточного и итогового контроля, критерии оценивания доводятся до сведения обучающихся в начале обучения.

Для текущего, промежуточного и итогового контроля образовательными учреждениями создаются фонды оценочных средств (ФОС). ФОС включают в себя педагогические контрольно-измерительные материалы, предназначенные для определения соответствия (или несоответствия) индивидуальных образовательных достижений основным показателям результатов профессионального модуля.

Результаты (освоенные профессиональные компетенции)	Показатели оценки результатов	Формы и методы оценки
ПК 2.1 Разрабатывать цифровые модели мембранно-электродных блоков электролизеров и оценивать их расчетную способность, исследовать модель и изменять расчетные параметры для обеспечения требований технического задания	1) Расчетная модель составлена в соответствии с техзаданием для мембранно-электродного блока электролизера в ПО COMSOL Multiphysics; 2) Модель позволяет рассчитать параметры работы мембранно-электродного блока описанного в техзадании состава; 3) Модель имеет расчетную способность (сетка позволяет проводить расчет с получением конечного результата)	Оценка продукта практической деятельности (расчетная модель мембранно-электродного блока электролизера) по критериям
	4) Описание проектного решения и результата проектирования позволяет оценить предлагаемое проектное решение и результат проектирования по заданным критериям. 5) Описание проектного решения и результата проектирования выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 22487-77 к терминологии	Оценка продукта практической деятельности (презентация, содержащая описание проектного решения и результата проектирования) по критериям
ПК 2.2 Составлять практические рекомендации к техзаданию на изготовление мембранно-электродных блоков электролизеров по результатам моделирования	1) Практические рекомендации к техзаданию содержат все необходимые параметры для изготовления опытного образца мембранно-электродного блока электролизера: геометрические параметры, примерный расход материалов, свойства материалов, получаемые характеристики 2) Параметры, используемые в практических рекомендациях, выбраны на основании предлагаемой расчетной модели 3) Структура практических рекомендаций к техзаданию соответствует требованиям ГОСТ 19.201-78 ЕСПД	Оценка продукта практической деятельности (практические рекомендации к составлению техзадания на изготовление мембранно-электродного блока электролизера) по критериям

Образцы оценочных средств

Спецификация

Деятельность, подлежащая оценке

3. Разрабатывать цифровые модели мембранно-электродных блоков электролизеров и оценивать их расчетную способность, исследовать модель и изменять расчетные параметры для обеспечения требований технического задания
4. Составлять практические рекомендации к техзаданию на изготовление мембранно-электродных блоков электролизеров по результатам моделирования

Основные показатели оценки

По деятельности 1:

- 6) Расчетная модель составлена в соответствии с техзаданием для мембранно-электродного блока электролизера в ПО COMSOL Multiphysics;
- 7) Модель позволяет рассчитать параметры работы мембранно-электродного блока описанного в техзадании состава;
- 8) Модель имеет расчетную способность (сетка позволяет проводить расчет с получением конечного результата)
- 9) Описание проектного решения и результата проектирования позволяет оценить предлагаемое проектное решения и результат проектирования по заданным критериям.
- 10) Описание проектного решения и результата проектирования выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 22487-77 к терминологии

По деятельности 2:

- 11) Практические рекомендации к техзаданию содержат все необходимые параметры для изготовления опытного образца мембранно-электродного блока электролизера: геометрические параметры, примерный расход материалов, свойства материалов, получаемые характеристики
- 12) Параметры, используемые в практических рекомендациях, выбраны на основании предлагаемой расчетной модели
- 13) Структура практических рекомендаций к техзаданию соответствует требованиям ГОСТ 19.201-78 ЕСПД

Форма оценки

Показатель, номер	Форма оценки
1-3	Продукт практической деятельности (расчетная модель мембранно-электродного блока электролизера)
4-5	Продукт практической деятельности презентация, содержащая описание проектного решения и результата проектирования)
6-8	Продукт практической деятельности (практические рекомендации к составлению техзадания на изготовление мембранно-электродного блока электролизера)

Методы оценки

Оценка по критериям

Требования к процедуре оценки

Помещение:	Особых требований нет
Оборудование:	Персональный компьютер
Инструменты:	COMSOL Multiphysics вер.5.6 Microsoft Word 2007 или выше, Microsoft Power Point 2007 или выше, Google Chrome версия 106.0.5249.103 или выше
Расходные материалы:	–
Доступ к дополнительным инструкциям и справочным материалам:	Файл 1D_SOEl_test.mph Файл технического задания ТЗ_El_test.doc ГОСТ 22487-77 ГОСТ 19.201-78 ЕСПД
Норма времени:	8 часов

Требования к кадровому обеспечению оценки

Оценщик (эксперт):	Ученая степень кандидата или доктора наук, наличие научных статей за последние 5 лет в области электрохимических устройств преобразования энергии и/или моделирования электрохимических устройств преобразования энергии.
Ассистент:	Высшее образование.

Основания для создания параллельных вариантов оценочных средств

Различные исследовательские задачи создания расчетной модели

Инструмент оценки

1.

Ознакомьтесь с техническим заданием на построение модели, размещенным в папке C://Documents//Materials/ТЗ_El_test.doc.

Постройте расчетную модель мембранно-электродного блока электролизера согласно данным и требованиям, приведенным в техзадании.

Сохраните рабочую расчетную модель в папке C:\Documents\2D_SOEl под своим именем, например, 2D_SOEl_IvanovSP.mph.

2.

Оформите полученное решение в виде презентации.

Сохраните файл презентации в папке C:\Documents\2D_SOEl под своим именем, например, Presentation_IvanovSP.pptx.

Вы можете воспользоваться текстом ГОСТ 22487-77, размещенным в папке C:\Documents\Materials\.

3.

Составьте на основании полученных результатов моделирования практические рекомендации для составления техзадания на изготовление опытного образца мембранно-электродного блока твердооксидного электролизера. Включите в практические рекомендации обоснование полученного результата проектирования.

Оформите практические рекомендации в соответствии с требованиями п. 1.4 ГОСТ 19.201-78 ЕСПД. Для оформления можете пользоваться полным текстом ГОСТ, размещенным в папке C:\Documents\Materials\.

Сохраните файл практических рекомендаций к техзаданию в папке C:\Documents\2D_SOEI под своим именем, например, PR_IvanovSP.doc

Инструмент проверки

По деятельности «Разрабатывать цифровые модели мембранно-электродных блоков электролизеров и оценивать их расчетную способность, исследовать модель и изменять расчетные параметры для обеспечения требований технического задания»

Критерий оценки	Показатель	Оценка, 1\0
Расчетная модель мембранно-электродного блока электролизера построена в соответствии с техзаданием	1*	
Расчетная модель включает параметры (состав, геометрия и т.п.) мембранно-электродного блока, заданные техзаданием	2*	
Расчетная модель выдает все результаты, требуемые техзаданием	2	
Построенная модель обладает расчетной способностью (построенная сетка позволяет получить конечный результат расчета)	3*	
Результат расчета по расчетной модели является правдоподобным	3	
Презентация результатов моделирования содержит полное и верное описание проектного решения и результата проектирования	4*	
Описаны условия моделирования и назначение результата моделирования	4*	
Описание условий моделирования и назначения результата моделирования согласуется с техническим заданием	4	
Результаты моделирования представлены в виде графических схем и таблиц данных	4	
Графические схемы и таблицы данных достоверно отражают результат проектирования, требуемый в техническом задании	4	
В описании проектного решения и результата проектирования соблюдены требования ГОСТ 22487-77 к терминологии	5*	

Знаком «» отмечены критерии, при несоответствии которым проверка прекращается с отрицательным для соискателя результатом.

Вывод эксперта о готовности испытуемого к выполнению трудовой функции об освоении трудовой функции фиксируется для каждого обучающегося в следующей таблице.

Итоговая оценка		дата	эксперт
Баллы	Отметка		
0-8	Компетенция не сформирована		
9-11	Компетенция сформирована		

По деятельности «Составлять практические рекомендации к техзаданию на изготовление мембранно-электродных блоков электролизеров по результатам моделирования»

Критерий оценки	Показатель	Оценка, 1\0
Практические рекомендации к техзаданию на изготовление опытного образца мембранно-электродного блока электролизера содержат геометрические параметры, примерный расход материалов, свойства материалов для изготовления опытного образца	1*	
Практические рекомендации к техзаданию содержат сведения о характеристиках, которые должен выдавать опытный образец мембранно-электродного блока электролизера	1	
Практические рекомендации основаны на результатах моделирования	2*	
Практические рекомендации содержат обоснование полученного результата проектирования	2	
При оформлении практических рекомендаций использована структура, рекомендуемая ГОСТ 19.201-78 ЕСПД	3*	

Знаком «» отмечены критерии, при несоответствии которым проверка прекращается с отрицательным для соискателя результатом.

Вывод эксперта о готовности испытуемого к выполнению трудовой функции об освоении трудовой функции фиксируется для каждого обучающегося в следующей таблице.

Итоговая оценка		дата	Эксперт
Баллы	Отметка		
0-3	Компетенция не сформирована		
4-5	Компетенция сформирована		

Образцы оценочных средств для оценки сформированности промежуточных результатов

Спецификация

Цель теста: оценить сформированность знаний по МДК «ПО COMSOL Multiphysics для построения цифровых моделей функциональных элементов твердотельных электрохимических устройств» и МДК «Оформление проектного решения».

Обработка результатов тестирования и их интерпретация

Знания, умения в соответствии с требованиями к квалификации, на соответствие которым проводится оценка квалификации	Критерии оценки квалификации		Тип и номер задания
	единица содержания	балл	
38. Знает модули и интерфейсы ПО COMSOL Multiphysics, необходимые для построения цифровой модели МЭБ ТПЭ и ТОЭ	Знает модули ПО COMSOL Multiphysics, необходимые для построения цифровой модели МЭБ ТПЭ и ТОЭ	1	<u>Задание 1</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
		1	<u>Задание 2</u> открытого типа с заданными ограничениями
	Знает интерфейсы COMSOL Multiphysics, необходимые для построения цифровой модели МЭБ ТПЭ и ТОЭ	1	<u>Задание 3</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
		1	<u>Задание 4</u> открытого типа с кратким ответом-дополнением
39. Знает алгоритмы составления цифровой модели МЭБ электролизера, варьируемые параметры, подходы к изменению и оптимизации модели	Знает алгоритмы составления цифровой модели МЭБ электролизера	1	<u>Задание 5</u> открытого типа с составлением верной последовательности
		1	<u>Задание 6</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
		1	<u>Задание 7</u> открытого типа с кратким ответом-дополнением
	Знает варьируемые параметры, подходы к изменению и оптимизации модели	1	<u>Задание 8</u> открытого типа с кратким ответом-дополнением
		1	<u>Задание 9</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
		1	<u>Задание 10</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
		1	<u>Задание 11</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
		1	<u>Задание 11</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов

310. Знает требования ГОСТ 22487-77 к терминологии	Знает требования ГОСТ 22487-77 к терминологии	1	<u>Задание 12</u> закрытого типа на установление соответствия
311. Знает правила составления презентационного материала по результатам моделирования МЭБ электролизера в ПО COMSOL Multiphysics	Знает правила составления презентационного материала по результатам моделирования	1	<u>Задание 13</u> открытого типа с кратким ответом-дополнением
		1	<u>Задание 14</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
312. Знает алгоритм оценки приведенной стоимости водорода, получаемого электролизным способом	Знает алгоритм оценки приведенной стоимости водорода, получаемого электролизным способом	1	<u>Задание 15</u> открытого типа с кратким ответом-дополнением
		1	<u>Задание 16</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов

Требования к условиям процедуры тестирования.

Обучающимся предоставляется доступ к персональному компьютеру с тестовым заданием (html5-формат). Тестовое задание организовано в окне плеера с кнопкой управления «Далее» и навигатором-оглавлением по списку вопросов, дающим возможность выбора вопроса. Ответ на все вопросы теста является обязательным. После выбора или ввода ответа надо нажать кнопку «далее», после чего показывается окно-индикатор, со сведениями о правильном или неправильном прохождении данного пункта задания. Верный ответ не показывается. Для успешного прохождения тестового задания необходимо набрать 80% правильных ответов. Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. На прохождение всего теста дается две попытки.

Требования к процедуре оценки

Помещение:	Особых требований нет
Оборудование:	Персональный компьютер
Инструменты:	Google Chrome версия 106.0.5249.103 или выше
Расходные материалы:	—
Доступ к дополнительным инструкциям и справочным материалам:	нет
Норма времени:	1 час

Требования к кадровому обеспечению оценки

Оценщик (эксперт):	Высшее естественно-научное образование
Ассистент:	Особых требований нет

Инструкция по подсчету баллов

Вывод эксперта о сформированности необходимых знаний по программе курса делается на основании суммарного процента верных ответов (всего 16 баллов – 100%) в следующей таблице.

Итоговая оценка		дата	эксперт
Процент правильных ответов	Отметка		
0-79	Образовательный результат не сформирован (неудовлетворительно)		
80-85	Образовательный результат частично сформирован (удовлетворительно)		
86-94	Образовательный результат в целом сформирован (хорошо)		
95-100	Образовательный результат полностью сформирован (отлично)		

Инструмент оценки

Инструкция: Откройте тестовое задание и выполняйте его последовательно, следуя инструкции каждого пункта задания. Задания предусматривают выбор верного ответа или ввод ответа. Выбор или ввод ответа является обязательным. После выбора или ввода ответа надо нажать кнопку «далее», после чего Вам будет показан индикатор, свидетельствующий о правильном или неправильном прохождении данного пункта задания. Пользуясь навигатором-оглавлением, Вы можете перемещаться между вопросами задания. Для успешного прохождения тестового задания необходимо набрать 80% правильных ответов. Каждое тестовое задание оценивается в 1 балл. На прохождение всего теста дается две попытки.

Пример тестового задания:

Ключ выделен жирным

1. Выберите все верные ответы.

Для построения одномерной математической модели твердооксидного электролизера воды в стационарной постановке необходимыми модулями являются:

- Multiphase Flow in Porous Media
- Laminar Flow
- **Transport of Concentrated Species**
- Bubbly Flow
- Darcy's Law
- Mixture Model
- Brinkman Equations
- Transport of Diluted Species
- **Secondary Current Distribution**
- Electrochemical Heating
- Electric Currents
- **Chemistry**
- Electrodeposition, Secondary

2. Сколько модулей Chemistry необходимо использовать для моделирования процессов на электродах электролизера? Запишите правильный ответ в виде числа.

Ключ: 2

3. Выберите все верные ответы.

Подходящие для моделирования однофазных течений интерфейсы

- A) Multiphase Flow in Porous Media
- Б) **Laminar Flow**
- B) Transport of Concentrated Species
- Г) Bubbly Flow
- Д) **Darcy's Law**
- E) Mixture Model
- Ж) **Brinkman Equations**
- 3) Transport of Diluted Species

4. Закончите предложение.

Для расчета полей токов и потенциалов в электролизёрах используется интерфейс _____.

Ключ: Secondary Current Distribution

5. Установите правильную последовательность действий при составлении цифровой модели мембранно-электродного блока в ПО COMSOL Multiphysics.

Заполните бланк.

- A. Построение геометрической модели
- B. Решение задачи
- C. Настройка модели
- D. Выбор геометрической модели
- E. Построение расчетной сетки
- F. Упрощение модели

1	2	3	4	5	6

Ключ:

1	2	3	4	5	6
D	F	A	C	E	B

6. Выберите верный ответ.

В какой задаче расчёт модели займёт наибольшее количество времени (при прочих равных условиях).

- A) Двумерная стационарная
- Б) Одномерная нестационарная
- В) **Трёхмерная нестационарная**
- Г) Нульмерная стационарная
- Д) Трёхмерная стационарная

7. Закончите предложение.

Параметры разбиения расчетной области на элементы настраиваются в узле COMSOL Multiphysics _____.

Ключ: **Mesh**

8. Закончите предложение.

Если переменные в электролизёре не изменяются по двум пространственным координатам, при математическом моделировании следует выбрать размерность пространства _____

Ключ: **1D**

9. Выберите все верные ответы.

При построении 1D модели мембранно-электродного блока электролизера нужно моделировать только:

- конвективный массоперенос (изобарные условия на аноде и катоде)
- кинетику протекания электрохимических реакций**
- теплоперенос
- диффузионный массоперенос**
- термодиффузию
- кроссовер

10. Выберите верный ответ.

Для описания кинетики электродных реакций в электролизере нужно использовать уравнение

- А) Нернста
- Б) Бринкмана
- В) Кирхгофа
- Г) **Табеля**

11. Выберите верный ответ.

Какой параметр из перечисленных нельзя оптимизировать в 1D модели?

- Рабочая температура
- Геометрия МЭБ
- Скорость подачи воды**
- Состав катода
- Состав анода
- Толщина электролита

12. Установите соответствие между термином и его определением. Одно определение лишнее.
Заполните таблицу.

Термин	
1	Математическое обеспечение автоматизированного проектирования
2	Проектное решение
3	Проектный документ
4	Результат проектирования
5	Проектная процедура

Определение	
А	Промежуточное или конечное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для рассмотрения и определения дальнейшего направления или окончания проектирования
Б	Формализованная совокупность действий, выполнение которых оканчивается проектным решением
В	Проектное решение (совокупность проектных решений), удовлетворяющее заданным требованиям, необходимое для создания объекта проектирования
Г	Совокупность математических методов, математических моделей и алгоритмов проектирования, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования, представленных в заданной форме
Д	Документ, выполненный по заданной форме, в котором представлено какое-либо проектное решение, полученное при проектировании
Е	Первичное описание объекта проектирования, представленное в заданной форме

1	2	3	4	5

Ключ:

1	2	3	4	5
Г	А	Д	В	Б

13. Завершите предложение.

В презентации результатов моделирования за разделом «Цель и задачи исследования» идет раздел _____

Ключ: Постановка задачи и методы исследования

14. Выберите верный ответ.

В раздел презентации «Постановка задачи и методы исследования» не включают:

- Основные используемые уравнения
- Оптимизация конструкции**
- Используемые параметры
- Варьируемые параметры

15. Изучите формулу и завершите предложение.

В формуле расчета капитальных затрат пропущены затраты на

$$CapEx = C_{\text{ПИР}} + C_{\text{СМР}} + C_{\text{кат.}} + C_{\text{эл-т}} + C_{\text{фикс.}} + C_{\text{подг.}} + C_{\text{осуш.}} + C_{\text{проч.}}$$

Ключ: затраты на создание анодного компонента установки

16. Выберите верный ответ.

При оценке приведенной стоимости водорода не проводят расчет

- Операционных затрат
- Нормы дисконтирования
- Выработки кислорода за срок службы устройства**
- Капитальных затрат
- Выработки водорода за срок службы устройства

Учебно-методические материалы для обучающихся

Для выполнения практических работ и подготовке их к защите рекомендуется использовать прилагаемые методические указания.

Для оформления презентации рекомендуется придерживаться не только изученной в рамках теоретических и практических занятий структуры, но и использовать определенный стиль оформления:

1. Фон презентаций – светлый (белый). Рекомендуемый шрифт Arial или Calibri, цвет основного текста черный, выделяемых определений, терминов – красный или синий, полужирный. Заголовки слайдов рекомендуется выделять цветом и полужирным шрифтом, не используя capslock, а увеличивая размер шрифта (не более 36 кегль). Не рекомендуется использовать более 2 шрифтов на презентацию, а также использовать более 3 цветов шрифта. Значения цветов должны быть постоянны. Ссылки на иллюстрации и прочие заимствованные материалы можно указывать серым цветом.

2. Основное содержание слайда должно находиться в центре внимания, абзацы текста не должны быть большими, что облегчает зрительное восприятие материала. Желательно использование интерактивных схем, таблиц, графиков, списков. При построении лекций приветствуется подача материала в виде моделирования реальных ситуаций с возможностью выбора обучающимся одной из предложенных траекторий поведения, с получением обратной связи о правильности сделанного выбора.

3. Все иллюстрации, используемые при оформлении слайдов, должны быть выдержаны в едином стиле и иметь высокую четкость изображения. Использование иллюстраций не должно нарушать авторские права третьих лиц.

4. Любая анимация, требующая предельно точной скорости воспроизведения, не должна зависеть от параметров компьютера пользователя.

При выполнении самостоятельных работ по темам 1 и 2 МКД 01 рекомендуется делать копию сохраненного файла модели после каждого измененного шага. Такое действие позволит вернуться к правильному варианту модели, если введенные изменения нарушили возможность проведения расчетов или привели к ошибке.

При подготовке к аттестации рекомендуется не только просматривать лекционный материал и проводить тренировку расчетных и кейсовых заданий, но и составлять опорный конспект, что повысит степень усвоения материала, позволит сформулировать вопросы, требующие консультации преподавателя.

Для подробного ознакомления с ГОСТ 22487-77 и ГОСТ 19.201-78 ЕСПД можно использовать прилагаемые материалы.

Полный перечень учебных материалов к ПМ 02, согласно таблице 2.2, приведен в Приложении 7.

Методические материалы для преподавателя

При подготовке теоретических занятий рекомендуется составлять презентационный материал к лекциям и практическим занятиям, следуя следующим требованиям:

5. Фон презентаций – светлый (белый). Рекомендуемый шрифт Arial или Calibri, цвет основного текста черный, выделяемых определений, терминов – красный или синий, полужирный. Заголовки слайдов рекомендуется выделять цветом и полужирным шрифтом, не используя capslock, а увеличивая размер шрифта (не более 36 кегль). Не рекомендуется использовать более 2 шрифтов на презентацию, а также использовать более 3 цветов шрифта. Значения цветов должны быть постоянны. Ссылки на иллюстрации и прочие заимствованные материалы можно указывать серым цветом.

6. Основное содержание слайда должно находиться в центре внимания, абзацы текста не должны быть большими, что облегчает зрительное восприятие материала. Желательно использование интерактивных схем, таблиц, графиков, списков. При построении лекций приветствуется подача материала в виде моделирования реальных ситуаций с возможностью выбора обучающимся одной из предложенных траекторий поведения, с получением обратной связи о правильности сделанного выбора.

7. Все иллюстрации, использующиеся при оформлении слайдов, должны быть выдержаны в едином стиле и иметь высокую четкость изображения. Использование иллюстраций не должно нарушать авторские права третьих лиц.

8. Любая анимация, требующая предельно точной скорости воспроизведения, не должна зависеть от параметров компьютера пользователя.

Рекомендуется заготовить и периодически обновлять список вопросов для таких занятий, которые можно использовать для проведения дискуссии с обучающимися, для обеспечения интерактивности образовательного процесса.

При контроле выполнения студентами практических и самостоятельных заданий следует обращать внимание не только на результат расчета, но и следить за структурой модели, правильность подбора интерфейсов и модулей, записью уравнений. Обязательным является подготовка нескольких вариантов практических заданий (вариация) для обеспечения индивидуального выполнения таких заданий.

Преподаватель должен подготовить несколько файлов данных экспериментальных работ, которые предоставляются обучающемуся для проведения сравнения расчета по модели и валидации модели. Такие файлы должны быть подготовлены заранее и соответствовать задаваемой для расчета задаче.

При проверке выполнения практических работ «Расчет 1D модели мембранно-электродного блока электролизера» и «Расчет 2D модели мембранно-электродного блока электролизера», а также самостоятельной работы к МДК 01 оценивается сформированность умений:

- составлять и модифицировать цифровую модель МЭБ ТОЭ и ТПЭ в ПО COMSOL Multiphysics (У6);
- исследовать цифровую модель МЭБ ТОЭ и ТПЭ в ПО COMSOL Multiphysics и проводить ее оптимизацию; (У7)

Проверку осуществляют, опираясь на следующие **показатели**:

- 1) Расчетная модель мембранно-электродного блока электролизера составлена в соответствии с методическими рекомендациями
- 2) Выбранные интерфейсы и число выбранных интерфейсов корректно описывает поставленную задачу.

- 3) Уравнения процессов на электродах заданы корректно
- 4) Параметрические уравнения и уравнения непрерывности заданы корректно
- 5) Источниковые члены заданы корректно
- 6) Модель позволяет рассчитать параметры работы мембранно-электродного блока заданного состава;
- 7) Модель имеет расчетную способность (сетка позволяет проводить расчет с получением конечного результата)
- 8) В модели проведена оптимизация как минимум по одному параметру (геометрия, температура, скорость потока воды)

Оценивается продукт – файл модели.

О сформированности умений выносится суждение на основании следующих критериев:

Критерий оценки	Показатель	Оценка, 1\0
Расчетная модель мембранно-электродного блока электролизера составлена в соответствии с методическими рекомендациями	1*	
Выбранные интерфейсы и число выбранных интерфейсов корректно описывает поставленную задачу	2*	
Уравнения процессов на электродах заданы корректно	3*	
Параметрические уравнения заданы корректно	4*	
Уравнения непрерывности заданы корректно	4*	
Источниковые члены для электродов заданы корректно	5*	
Источниковые члены для электролита заданы корректно	5	
Параметры модели введены корректно	6	
В параметрах модели соблюдены верные размерности	6	
Модель позволяет рассчитать параметры работы мембранно-электродного блока заданного состава	6*	
Модель имеет расчетную способность (сетка позволяет проводить расчет с получением конечного результата)	7*	
В модели проведена оптимизация как минимум по одному параметру (геометрия, температура, скорость потока воды)	8*	

Знаком «» отмечены критерии, при несоответствии которым проверка прекращается с отрицательным для соискателя результатом.

Вывод эксперта о сформированности необходимых умений по результату проверки делается на основании суммарной оценки для каждого обучающегося в следующей таблице:

Итоговая оценка		дата	эксперт
Баллы	Отметка		
0-9	Образовательный результат не сформирован		
10-12	Образовательный результат сформирован		

При проверке выполнения практической работы «Построение презентации под кейсовую задачу (файл модели). Сопоставление данных модели с экспериментальными данными» и «Оформление презентации по результатам практических работ, включающее поиск-обоснование актуальности работы», в МДК 02 оценивается сформированность следующих умений:

- составлять описание проектного решения по созданной цифровой модели МЭБ электролизера и результата проектного решения и представлять в виде презентации; (У8)
- сопоставлять полученное проектное решение по МЭБ электролизера с экспериментальными данными аналогов; (У9)
- выделять в полученном проектном решении параметры, необходимые для создания опытного образца электролизера (У10)

Проверку осуществляют, опираясь на следующие **показатели**:

- 1) Презентация проектного решения содержит введение с постановкой задачи
- 2) Презентация содержит формулировку цели и задач, полностью описывающих необходимый набор действий для поставленной задачи
- 3) Презентация содержит раздел с описанием постановки расчетной задачи и методов ее решения
- 4) Презентация содержит описание построенной геометрии и выбранные интерфейсы и уравнения для решения
- 5) Презентация содержит результаты оптимизации как минимум по одному параметру (геометрия, температура, скорость потока воды)
- 6) Презентация содержит сравнение экспериментальных данных (аналога) с расчетными
- 7) Презентация содержит раздел заключение, в котором суммированы используемые при моделировании подходы и выводы по расчетной способности модели
- 8) В заключении даны указания, какие параметры модели можно использовать для создания опытного образца электролизера.
- 9) При оформлении не нарушены требования ГОСТ 22487-77 к терминологии

Оценивается продукт – файл презентации

О сформированности умений выносится суждение на основании следующих критериев:

Критерий оценки	Показатель	Оценка, 1\0
Презентация проектного решения содержит введение с постановкой задачи	1*	
Презентация содержит формулировку цели и задач, полностью описывающих необходимый набор действий для поставленной задачи	2*	
Формулировка цели включает описание моделируемой системы из поставленной задачи и указание на оптимизируемый параметр	2	
Презентация содержит раздел с описанием постановки расчетной задачи и методов ее решения	3*	

Описание постановки расчетной задачи и методов ее решения подходят для указанной в задании системы, ее геометрии и позволяют получить нужный результат моделирования	3	
Презентация содержит описание построенной геометрии и выбранные интерфейсы и уравнения для решения	4*	
Результаты моделирования представлены в виде графических схем и таблиц данных	4	
Графические схемы и таблицы данных достоверно отражают результат проектирования, требуемый в поставленном задании	4	
Презентация содержит результаты оптимизации как минимум по одному параметру (геометрия, температура, скорость потока воды)	5	
Презентация содержит сравнение экспериментальных данных (аналога) с расчетными	6	
Презентация содержит раздел заключение, в котором суммированы используемые при моделировании подходы и выводы по расчетной способности модели	7	
В заключении даны указания, какие параметры модели можно использовать для создания опытного образца электролизера.	8	
При оформлении соблюдены требования ГОСТ 22487-77 к терминологии	9	

Знаком «» отмечены критерии, при несоответствии которым проверка прекращается с отрицательным для соискателя результатом.

Вывод эксперта о сформированности необходимых умений по результату проверки делается на основании суммарной оценки для каждого обучающегося в следующей таблице:

Итоговая оценка		дата	Эксперт
Баллы	Отметка		
0-10	Образовательный результат не сформирован		
11-13	Образовательный результат сформирован		

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр проблем химической физики
и медицинской химии Российской академии наук



УТВЕРЖДАЮ:
Зам. директора ФИЦ ПХФ и МХ РАН

/ Казакова А.В. /

« 17 » июня 2023 г.

ПРОГРАММА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ
«Теория и практика топливных элементов и электрохимических
генераторов на их основе»

2023 г.

Программа предназначена для повышения квалификации и (или) профессиональной переподготовки специалистов по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам, специалистов по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, специалистов по компьютерному проектированию технологических процессов, специалистов по испытаниям инновационной продукции наноиндустрии, специалистов в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области материаловедения и технологии материалов, специалистов в области технологического обеспечения полного цикла производства объемных нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них, специалистов по проектированию изделий из наноструктурированных композиционных материалов, специалистов по технологии в области производства продукции с применением наноструктурированных катализаторов и инженерно-технических работников предприятий электрохимических производств с целью приобретения ими профессиональных компетенций в области водородной электрохимической энергетики и цифрового моделирования функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков современных электролизных модулей получения водорода и топливных элементов

Организация-разработчик: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук

Разработчики:

Золотухина Екатерина Викторовна, доктор хим. наук, главный научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Левченко Алексей Владимирович, кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Герасимова Екатерина Владимировна, кандидат хим. наук, старший научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Лысков Николай Викторович, кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Правообладатель программы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, 142432, г. Черноголовка, проспект академика Семенова, д.1, www.icp.ac.ru, 8(49652)21602

© ФИЦ ПХФ и МХ РАН, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1. Паспорт профессионального модуля	113
2. Структура и содержание профессионального модуля	115
3 Условия реализации программы профессионального модуля	121
4. Контроль и оценка результатов освоения профессионального модуля	125
Приложение 4.1 Образцы оценочных средств для оценки сформированности ПК	127
Приложение 4.2 Образцы оценочных средств для оценки сформированности промежуточных результатов по МДК 01	132
Приложение 4.3 Учебно-методические материалы для обучающихся	140
Приложение 4.4 Методические материалы для преподавателя	141

1. ПАСПОРТ ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ «Теория и практика топливных элементов и электрохимических генераторов на их основе»

1.1. Область применения программы

Профессиональный модуль предназначен для повышения квалификации \ профессиональной переподготовки целевой группы обучающихся специалистов по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам, специалистов по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, специалистов по компьютерному проектированию технологических процессов, специалистов по испытаниям инновационной продукции наноиндустрии, специалистов в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области материаловедения и технологии материалов, специалистов в области технологического обеспечения полного цикла производства объемных нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них, специалистов по проектированию изделий из наноструктурированных композиционных материалов, специалистов по технологии в области производства продукции с применением наноструктурированных катализаторов и инженерно-технических работников предприятий электрохимических производств с целью приобретения ими профессиональных компетенций в области водородной электрохимической энергетики и цифрового моделирования функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков современных электролизных модулей получения водорода и топливных элементов. Программа профессионального модуля используется в программе «Водородная и электрохимическая энергетика: от материалов до устройств» в части получения следующих результатов:

ПК 3 Подбирать состав, строение и тип топливных элементов для интегрирования в электрохимические генераторы, подбирать методы и проводить тестирование нужных характеристик

Данный модуль является инвариантным для обучающихся по программе профессиональной переподготовки «Водородная и электрохимическая энергетика: от материалов до устройств».

Обучающийся по программе магистратуры «Водородная и электрохимическая энергетика» может выбрать данный модуль для построения своей индивидуальной образовательной программы повышения квалификации в области водородных технологий.

Программа профессионального модуля также может быть использована в ООП магистратуры «Нанотехнологии в электрохимическом производстве», «Водородная и электрохимическая энергетика», «Новые энергетические технологии».

1.2. Требования к промежуточным результатам освоения модуля

С целью формирования перечисленных результатов обучающийся в ходе освоения программы модуля должен:

иметь практический опыт:

- Выбора материалов и типов топливных элементов для интеграции в энергоустановку, методов тестирования топливных элементов (ОПД5).

уметь:

- Умеет подбирать материалы для использования в различных типах ТЭ, подходящих для интеграции в энергоустановки разной мощности и проводить тестирование топливных элементов (У11)

знать:

- Разбирается в видах, составных элементах и принципах работы различных топливных элементов, причинах их деградации (313);
- Разбирается в материалах, подходящих к использованию в различных топливных элементах (314);
- Знает научные основы методов тестирования материалов для ТЭ и ТЭ в сборе для получения нужных характеристик (315).

1.3. Количество часов на освоение программы модуля:

всего – **62** часов, в том числе:

обязательной аудиторной учебной нагрузки обучающегося – **30** час;

самостоятельной работы обучающегося – **16** час;

практики - **16** час.

2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ

2.1. Учебно-тематический план профессионального модуля

Наименования элементов ПМ	Всего часов	Обязательная аудиторная учебная нагрузка, часов		Практика, часов	Самостоятельная работа, часов
		всего	в т.ч. практические и лабораторные занятия		
МДК 01 Принципы работы и тестирования различных типов ХИТ, материаловедение устройств генерации и преобразования водорода	34	30	2		4
Тема 1 Топливные элементы на протонообменных мембранах	10	10	0		2
Тема 2 Энергоустановки с топливными элементами на протонообменных мембранах и требования к ним	10	8	2		0
Тема 3 Испытательные стенды и методы испытаний топливных элементов и материалов для их создания	2	2	0		0
Тема 4 Твердооксидные топливные элементы и материалы для них	10	8	0		2
Тема 5 Дегградация топливных элементов, причины и способы ее оценки	2	2	0		0
Практика (в модельной ситуации)	28			16	12
Всего:	62	30	2	16	16
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]

2.2. Содержание обучения по профессиональному модулю

Наименование тем	Содержание учебного материала, лабораторные работы и практические занятия, практика, самостоятельная работа обучающихся, проекты	Объем часов
МДК 01 Принципы работы и тестирования различных типов ХИТ, материаловедение устройств генерации и преобразования водорода		
Тема 1. Топливные элементы на протонообменных мембранах	Содержание	
	1 Введение в теорию топливных элементов. Виды электрохимических источников тока (ЭХИТ). Место и виды ТЭ. История открытия. Достоинства. Основные характеристики. Основные требования к используемым материалам. Особенности применения. Особенности использования на транспорте и в стационарных условиях.	2
	2 PEM - топливные элементы: Особенности работы и конструкции топливных элементов с твердым полимерным электролитом. Типы топлив. Характеристики в процессе работы. Основные компоненты. Мембранно-электродный блок (МЭБ) и его материалы. Влияние температуры на свойства и характеристики. Батареи ТЭ и типы охлаждения. Использование на транспорте.	2
	3 Типы используемых электродов и электролитов, их влияние на характеристики топливного элемента, влияние условий окружающей среды на работу ТЭ. МЭБ и оснастка. Компоненты МЭБ. Требования к компонентам. Влияние различных факторов на свойства компонентов. Способы формирования МЭБ. Влияние различных факторов на вольтамперные и мощностные характеристики МЭБ.	2
	4 Устройство катодной и анодной области батареи топливных элементов. Конструкционные особенности батарей топливных элементов. Топливные элементы с протонообменной мембраной. Особые требования к коммутационным материалам. Конструктив ТПТЭ. Материалы для биполярных пластин. Выбор структуры каналов. Специфика катодной и анодной области. Структура подачи газов. Конструктив ТПТЭ и характеристики.	2
5 Влияние внешних факторов на жизненный цикл топливного элемента в составе автомобиля (качество исходного топлива, вибрации, режимы работы). Расход водорода, расход воздуха, нормы, ресурс, КПД. Характеристики топливного элемента. Влияние загрязнителей. СО на аноде. Сероводород на аноде и на катоде. Диоксид серы на катоде. Оксиды азота и аммиак на аноде. Аммиак на катоде. Влияние углеводородов. Заморозка. Запуск при отрицательных температурах. Влияние локального недостатка топлива и окислителя. Влияние циклов нагрузки, запуска/выключения. Циклическое включение/выключение. Влияние вибраций.	2	

	Самостоятельная работа		
	1	Анализ литературы и составление опорного конспекта по теме 1	2
Тема 2 Энергоустановки с топливными элементами на протонообменных мембранах и требования к ним	Содержание		
	1	Устройство ТЭ в составе энергоустановки для транспортных средств. Батареи топливных элементов, системы подвода водорода, воздуха, охлаждения. Конструктивные типы батарей ПОМ ТЭ. Открытый катод и воздушное охлаждение. Закрытый катод и жидкостное охлаждение. Составные части энергоустановки (ЭУ) на ТЭ. Достоинства и недостатки открытого и закрытого катода. Применение ЭУ на ТЭ. Основные элементы в составе энергоустановок транспорта на топливных элементах. Батареи топливных элементов в составе энергоустановки. Система хранения и подачи водорода и требования к ней. Характеристики водорода. Способы хранения водорода. Безопасность. Рециркуляция анодных газов. Система подготовки и подачи воздуха и требования к ней. Характеристики воздуха. Влияние давления и влажности газов на работу. Применяемые воздушные компрессоры. Система охлаждения и требования к ней. Рабочая температура. Важность оптимизации обвязки ТЭ.	2
	2	Основные требования к топливным элементам, силовым модулям и автомобилям с топливными элементами на водороде. Стандарты для топливных элементов. Предпосылки, появление и развитие стандартизации. Место стандартов в сертификации ТС. Глобальные технические правила ООН №13. Правила №134. О «добровольности применения стандартов». Технический регламент таможенного союза ТР ТС 018/2011. Ситуация с «водородными» стандартами. Порядок разработки стандартов. ГОСТ Р 1.7-2014. «Водородные» стандарты – уровень топливного элемента. ГОСТ Р 56188.1-2014. ГОСТ Р МЭК 62282-2-2014. ГОСТ IEC 62282-4-101–2017. IEC 62282-4-102:2017. «Водородные» стандарты – уровень ТС. ГОСТ ISO 23273–2015. SAE J2578. ГОСТ Р ИСО 23828–2013. ISO 19882:2018. УСДТ - Предохранительное устройство для сброса давления, срабатывающее под воздействием тепла. Важность УСДТ. Разогрев водорода при сжатии. Влияние нагрева на ресурс/разрушение баллона. «Водородные» стандарты – качество водорода, хранение водорода, безопасность. Технические требования.	2
	3	Моделирование силовых установок (в т.ч. ТС) на топливных элементах (особенности, методики, инструментарий). Структура установок на ТЭ. Батареи ТЭ в составе энергоустановки. Моделирование энергоустановок на ТЭ. Определение ключевых параметров ЭУ по графику нагрузки. Увеличение эффективности ЭУ. Принципиальная схема стенда тестирования ТЭ. 1-D моделирование систем в Siemens AMESim. Применение модуля FloEFD. Моделирование ТЭ. Задачи моделирования ЭУ и ПО для их решения.	2

		Аккумуляторы и аккумуляторные батареи для ЭУ. Что такое аккумулятор, чем первичный источник тока отличается от вторичного? Типы аккумуляторов. Устройство и принцип действия. Основные характеристики. Литий-ионные аккумуляторы и их особенности. Мировые тенденции по развитию разработок в области ЛИА. Форм-факторы ЛИА: особенности, преимущества и недостатки.	
	Практические занятия		
	1	Знакомство с устройством топливного элемента и компоновкой батарей топливных элементов ТПТЭ	2
Тема 3 Испытательные стенды и методы испытаний топливных элементов и материалов для их создания	Содержание		
	1	Испытания (исследовательские) топливных элементов (методики, особенности, оборудование, стенды). Объекты исследований. Методы исследований. Исследование ТЭ. Метод электрохимического импеданса. Исследуемые объекты. Что мы измеряем? Реальные объекты. Вопросы кинетической оценки электрокатализа в полуреакциях. Метод вращающегося дискового электрода с кольцом (ВДЭ). Как работает ВДЭ. Что можно исследовать при помощи ВДЭ? Потенциодинамические методы анализа катализатора. ЭХ методы анализа ячейки и стека. Поляризационные потери в работающем ТЭ. Стендовые испытания ТЭ и БТЭ.	2
Тема 4 Твердооксидные топливные элементы и материалы для них	Содержание		
	1.	Особенности работы и конструкции твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ). ТОТЭ – перспективные источники электрической энергии. Сравнение удельной мощности ТОТЭ с мощностью различных систем преобразования энергии при $650^{\circ}\text{C} \sim 2 \text{ Вт/см}^2$. Принцип работы ТОТЭ. Поляризационная (вольтамперная) характеристика ТЭ. Зависимость величины напряжения ТЭ от типа используемого топлива. Материалы ТОТЭ. Чем привлекательны ТОТЭ? Стационарная энергетическая установка на топливных элементах (ТЭУ). Основные требования к ресурсным характеристикам энергоустановок на основе ТОТЭ. Области применения энергоустановок на основе ТОТЭ. Технологическое развитие конструкции ТОТЭ. Конструкционные особенности ТОТЭ. Тонкопленочные ТОТЭ на несущей керамической подложке из анодного оксида алюминия (АОА). Технологическая цепочка производства ТОТЭ. Базовые технологии изготовления несущих основ ТОТЭ. Методы изготовления функциональных слоев ТОТЭ. Планарные ТОТЭ. Примеры. Трубчатые ТОТЭ. Примеры. Компании, производящие выпуск энергосистем на ТОТЭ в США. ТОТЭ в России. Исследование микроструктуры и мощностных характеристик планарного ТОТЭ. Компании-разработчики ТОТЭ. Проблемы внедрения.	4

2	<p>Типы используемых электродов и электролитов, их влияние на характеристики ТОТЭ. Дegradация компонентов ТОТЭ. Принцип работы ТОТЭ. Условия достижения высокой удельной мощности (высоких КПД) топливного элемента. Основные требования, предъявляемые к материалам для их использования в топливных элементах (ТОТЭ). Материалы ТОТЭ: твердые электролиты. Влияние природы допанта на ионную проводимость системы $ZrO_2-M_2O_3$. Влияние парциального давления кислорода на проводимость. Термическое расширение. Достоинства и недостатки. Твердые электролиты на основе CeO_2, допированного оксидами РЗЭ и ЦЗЭ. Структурный тип перовскита. Влияние $p(O_2)$ на проводимость LSGM. Оптимизация состава. Удельные ионные проводимости оксидных твердых электролитов. Катодные материалы ТОТЭ. Влияние ионной проводимости на механизм реакции восстановления кислорода. Композитные катоды. Катоды на основе перовскитов РЗЭ. Корреляция КТР и ионной проводимости ($800^\circ C$, воздух) для оксидов со структурой перовскита. Манганиты лантана, стронция. Основные структурные типы катодных материалов. Катоды на основе кобальтитов РЗЭ. КТР перовскитов 3d-металлов. Сравнительные характеристики катодных материалов ТОТЭ. Инфильтрационные методы формирования композитных катодов. Анодные материалы и требования к ним. Механизм окисления водорода на керметном аноде. Однофазные анодные материалы. Электродные материалы для симметричных ТОТЭ. Удельная мощность С-ТОТЭ с различными электродными материалами. Образование наночастиц металлов на поверхности оксидного анода. Комутационные материалы и их виды. Проблемы. Формирование защитных покрытий. Основные факторы, обуславливающие деградацию характеристик ТОТЭ. Основные типы воздействий. Основные факторы, обуславливающие деградацию ЭУ. Группы процессов и примеры.</p>	2
3	<p>Методы исследования электрохимических характеристик материалов ТОТЭ. Основные параметры, характеризующие свойства проводника. Методы измерения проводимости. Конструкции измерительных ячеек. Схемы расположения электрода сравнения в ассиметричных электрохимических ячейках. Виды измерительных приборов. Схема установки для определения электрических характеристик образцов в газовой фазе с контролируемым содержанием газа. Измерение температуры с помощью термопары. Типы термопар и их спаев. Характеристики. Способы подключения. Определение содержания кислорода в газовой фазе. Измерение проводимости материалов. Примеры «линейного» и «нелинейного» поведения электрохимической системы. Способы описания импедансных спектров. Основные подходы к созданию импедансных моделей. Основные структуры импедансных моделей. Симуляция электрохимического импеданса. Основные структурные модели типичных электрохимических систем. Модельные системы. Измерение проводимости твердых электролитов. Объемная и</p>	2

		зернограничная проводимость: блочно-слоевая модель. Механизм восстановления кислорода на пористом электроде. Исследование электродных процессов на границе электрод/электролит.	
	Самостоятельная работа		
	1	Анализ литературы и составление опорного конспекта по теме 4	2
	Содержание		
Тема 5 Дegrадация топливных элементов, причины и способы ее оценки	1	Дegrадация компонентов МЭБ ТПТЭ. Причины дegrадации H ₂ -O ₂ ТЭ. Дegrадация электродов. Дegrадация платины. Дegrадация углеродного носителя. Водный баланс. Заторпление. Методы диагностики и оценки скорости дegrадации электродов. Ускоренные протоколы для моделирования дegrадации катализаторов. Дegrадация мембраны. Химическая дegrадация. Загрязнение ионами. Методы диагностики и оценки скорости дegrадации мембраны. Определение выбросов фтора. Кроссовер водорода. Ex situ характеристика. Дegrадация газодиффузионного слоя. Ускоренные протоколы для моделирования дegrадации ГДС. Заморозка. Работа при отрицательных температурах. Влияние примесей. Дegrадация биполярных пластин.	2
Практика	Виды работ: 1. Изготовление МЭБ ТПТЭ 2. Исследование электрохимических характеристик мембранно-электродных блоков (МЭБ) ТПТЭ 3. Сборка батарей ТПТЭ 4. Электрохимические испытания батарей ТЭ с воздушным охлаждением (или водяным охлаждением) 5. Тестирование МЭБ ТОТЭ 6. Оформление отчета по выполненным работам – самостоятельная работа		28
Всего:			62

3. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ

3.1. Требования к материально-техническому обеспечению

Реализация программы модуля не предполагает наличия специализированного учебного кабинета при условии соответствия учебных кабинетов санитарным нормам, а его оборудования – изложенным ниже требованиям.

Оборудование учебного кабинета \ полигона \ лаборатории и рабочих мест кабинета:

- Компьютер/ноутбук с операционной системой Windows (версия не ниже 7.0), программой для работы в интернете (Chrome или аналог), программой для работы с текстами и презентациями (MS Office)

- Мультимедийный проектор

Технические средства обучения:

Компьютеры, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет и подключенные к международным и российских научным базам данных, с доступом к электронной библиотеке с основными международными научными журналами

Каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечной системе (электронной библиотеке) Ногинского научного центра и к электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) научно-образовательного центра (НОЦ) ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

Функционирование электронной информационно-образовательной среды обеспечивается соответствующими средствами информационно-коммуникационных технологий и квалификацией работников, ее использующих и поддерживающих.

Требования к месту проведения практики:

Практика проводится с использованием оборудования Центра компетенций НТИ при ФИЦ ПХФ и МХ РАН, в специализированных помещениях. Либо по методическим разработкам ФИЦ на оборудовании и в специализированных помещениях компании, направляющей на обучение, в случае дистанционного формата обучения.

Количество человек в группе, одновременно находящихся в помещении, не превышает 5.

3.2. Информационное обеспечение обучения

Основные источники

1. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М.: Химия, 2006. 672

2. Добровольский Ю. А., Гутерман В. Е., Смирнова Н. В., Лысков Н. В., Фролова Л. А., Куриганова А. Б. Электрохимические накопители и преобразователи

энергии: Учебное пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2012. – 76 с.

3. Козлов С.И. Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы / С.И. Козлов, В.Н. Фатеев. - М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. - 518 с.

4.Коровин Н. В., Скундин А. М. Химические источники тока. М.: МЭИ, 2003. — 740 с.

Дополнительные источники

1. Багоцкий В.С. Основы электрохимии. М.: Химия, 1988. 400 с.
2. Багоцкий В. С., Скундин А. М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981. 360 с.
3. Гамбург Д. Ю., Семенов В. П., Дубовкин Н. Ф., Смирнова Л. Н. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справочник. // Под ред. Д.Ю.Гамбурга и Н.Ф.Дубовкина. М.: «Химия», 1989.
4. Радченко Р. В. Водород в энергетике : учебное пособие / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа; [науч. ред. С. Е. Щеклеин]. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2014. — 229, [3] с. — ISBN 978-5-7996-1316-7.
5. Электрохимия в материаловедении / В. Плит ; пер. с англ. О. Д. Чаркина, Фишгойт и А. А. Митрофанова. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 446 с. : ил., табл.; 24 см.; ISBN 978-5-9963-0387-8
6. Е.А. Астафьев, Н.В. Лысков. Электрохимические методы исследования материалов для электрохимических устройств. Методическое пособие. Черноголовка. 2010. 64 с.
7. Ю.А. Добровольский, Е.А. Сангинов, А.В. Писарева. полимерные протонообменные мембраны для твердотельных электрохимических устройств. Методическое пособие. Черноголовка. 2010. 64 с.

3.3. Общие требования к организации образовательного процесса

Организация образовательного процесса

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками, видеороликами. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия. Электронная презентация и видеоролики позволяют отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала. Занятия предусматривают обязательную дискуссию, строящуюся с использованием презентационного материала, по вопросам, формируемым аудиторией слушателей и преподавателем, что позволяет закрепить получаемую информацию и связать ее с уже изученными ранее разделами.

Практическое занятие подразумевает решение заданий, предназначенных для формирования требуемых умений: расчетных задач и практических заданий.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку теоретического материала, выдаваемого преподавателем, для формирования нужных для выполнения практических заданий знаний.

В рамках практики обучающиеся при консультации и контроле преподавателя осваивают оборудование, методы и их приложение к конкретным материалам и устройствам ЭУ, вырабатывая практические навыки работы и тестирования ТЭ и батарей на их основе.

Входные требования к обучающимся:

Особых требований нет.

3.4. Кадровое обеспечение образовательного процесса

Реализация программы обеспечивается научно-педагогическими работниками, имеющими ученую степень и публикации в ведущих отечественных и/или зарубежных рецензируемых научных журналах и изданиях, осуществляющими самостоятельную научно-исследовательскую деятельность в течение последних 5 лет в области электрохимических устройств преобразования энергии и ЭУ.

Квалификация научно-педагогических работников организации соответствует квалификационным характеристикам, установленным в Едином квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов и служащих, раздел "Квалификационные характеристики должностей руководителей и специалистов высшего профессионального и дополнительного профессионального образования", утвержденном приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 11 января 2011 г. № 1н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 23 марта 2011 г., регистрационный № 20237), и профессиональным стандартам.

4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ

Образовательное учреждение, реализующее программу профессионального модуля, обеспечивает организацию и проведение текущего и промежуточного контроля демонстрируемых обучающимися знаний, умений и полученного ими опыта практической деятельности.

Текущий контроль проводится преподавателем на основе оценивания результатов практической работы обучающихся.

Промежуточный контроль проводится после завершения МДК с оценкой знаний и умений, сформировавшихся у каждого обучающегося по заданиям, примеры которых приведены в ФОС (Приложение 4.2).

Итоговый контроль проводится комиссией преподавателей (экспертной комиссией) на основе оценивания продукта практической деятельности по показателям. По результатам итогового контроля формируется оценочное суждение о достижениях образовательных результатов профессионального модуля – профессиональных компетенций в формате: «сформирована\ не сформирована». Оценка проводится на основании заданий и по критериям, приведенным в ФОС (Приложение 4.1).

Порядок перевода оценочных баллов в оценочное суждение определяется в оценочных средствах.

Формы и методы текущего, промежуточного и итогового контроля, критерии оценивания доводятся до сведения обучающихся в начале обучения.

Для текущего, промежуточного и итогового контроля образовательными учреждениями создаются фонды оценочных средств (ФОС). ФОС включают в себя педагогические контрольно-измерительные материалы, предназначенные для определения соответствия (или несоответствия) индивидуальных образовательных достижений основным показателям результатов профессионального модуля.

Результаты (освоенные профессиональные компетенции)	Показатели оценки результатов	Формы и методы оценки
ПК 3 Подбирать состав, строение и тип топливных элементов (ТЭ) для интегрирования в электрохимические генераторы, подбирать методы и проводить тестирование нужных характеристик	<ol style="list-style-type: none"> 1) Подобранные материалы и их количественные пропорции подходят для заданного типа ТЭ 2) Изготовление ТЭ из подобранных материалов и сборка измерительной ячейки проведены без нарушений структуры образца 3) Выбраны правильные условия тестирования созданного образца 4) Выбраны правильные методы тестирования созданного образца 5) Определены необходимые характеристики опытного образца и заполнен протокол тестирования 	Оценка продукта практической деятельности (опытный образец ТЭ и протокол его тестирования) по критериям

Образцы оценочных средств для оценки сформированности ПК

Спецификация*Деятельность, подлежащая оценке*

Подбирать состав, строение и тип топливных элементов (ТЭ) для интегрирования в электрохимические генераторы, подбирать методы и проводить тестирование нужных характеристик

Основные показатели оценки

- 1) Подобранные материалы и их количественные пропорции подходят для заданного типа ТЭ
- 2) Изготовление ТЭ из подобранных материалов и сборка измерительной ячейки проведены без нарушений структуры образца
- 3) Выбраны правильные условия тестирования созданного образца
- 4) Выбраны правильные методы тестирования созданного образца
- 5) Определены необходимые характеристики опытного образца и заполнен протокол тестирования

Форма оценки

Продукт (опытный образец ТЭ и протокол его тестирования).

Методы оценки

Оценка по критериям

Требования к процедуре оценки

Помещение:	Особых требований нет
Оборудование:	Пресс, аналитические весы (до 4 знака), станция тестирования ТЭ, электролизный источник водорода или водородная газовая линия, воздушная линия (с компрессором), потенциостат/гальваностат с управляющим компьютером, ультразвуковой гомогенизатор, плитка с контролируемым нагревом Персональный компьютер или ноутбук с программой обработки результатов эксперимента
Инструменты:	Тестовая ячейка для тестирования опытного образца ТЭ, бланк протокола, микрометр, измерительная линейка, кисточка для нанесения, динамометрический ключ
Расходные материалы:	Газы (водород, воздух), электродные материалы (катализаторы разных составов), материалы электролита (мембраны), газодиффузионные слои, тефлоновые прокладки
Доступ к дополнительным инструкциям и справочным материалам:	Инструкции к оборудованию
Норма времени:	8 часов

Требования к кадровому обеспечению оценки

Оценщик (эксперт):	Ученая степень кандидата или доктора наук, наличие научных статей за последние 5 лет в области электрохимических устройств преобразования энергии
Ассистент:	Высшее образование.

Основания для создания параллельных вариантов оценочных средств
Различные исследовательские задачи (виды ТЭ)

Инструмент оценки

Перед вами поставлена задача выбрать материалы, рассчитать пропорции и собрать опытный образец водородно-воздушного топливного элемента на протонообменной мембране с электроактивной областью 1 см^2 и провести его подключение и тестирование на тестовой станции.

1.

Ознакомьтесь с формой протокола (бланк).

Осуществите выбор и расчет количеств материалов для создания водородно-воздушного топливного элемента нужной электродной площади.

Проведите сборку топливного элемента и тестовой ячейки и ее подключение к тестовой станции.

Убедитесь в работоспособности станции и правильности подключения газов!

2.

Проведите тестирование собранного опытного образца, заполните протокол тестирования (бланк).

Внимательно относитесь к выбору метода тестирования, оценив время, которое потребуется на тестирование образца тем или иным методом!

Проведите отключение станции, приборов и газовых линий.

Разберите тестовую ячейку и сдайте опытный образец и заполненный протокол

Бланк

Дата	
ФИО	
<i>Сборка опытного образца</i>	
Состав и марка катализатора анода	
Рассчитанное количество катализатора, г	
Состав и марка катализатора катода	
Рассчитанное количество катализатора, г	
Марка мембраны	
Геометрические параметры мембраны для опытного образца, длина x ширина x толщина, см x см x мкм	
Компоненты каталитических чернил катода	
Взятые пропорции компонентов для каталитических чернил катода	
Расчётная загрузка платины на катоде, $\text{мг}/\text{см}^2$	
Компоненты каталитических чернил анода	
Взятые пропорции компонентов для каталитических чернил анода	
Расчётная загрузка платины на аноде, $\text{мг}/\text{см}^2$	
Используемый растворитель для каталитических чернил	
Общий объем каталитических чернил катода	
Общий объем каталитических чернил анода	
Время гомогенизации и метод гомогенизации каталитических чернил	
Марка ГДС катода	
Геометрические параметры ГДС катода	
Марка ГДС анода	
Геометрические параметры ГДС анода	
Температура при нанесении каталитических чернил, °С	
Фактическая загрузка катализатора на катоде, $\text{г}/\text{см}^2$	

Фактическая загрузка катализатора на катоде, г/см ²	
Метод оценки фактической загрузки катализатора	
Температура прессования, °С	
Давление прессования, атм	
Время прессования, мин	
Каталитический слой обращен при прессовании (вычеркнуть ненужное)	<i>к мембране/ от мембраны</i>
Момент силы при сборке тестовой ячейки, Н м	
<i>Тестирование опытного образца</i>	
Скорость потока воздуха, мл/мин	
Давление воздуха, атм	
Относительная влажность воздуха, %	
Скорость потока водорода, мл/мин	
Давление водорода, атм	
Относительная влажность водорода, %	
Температура тестирования, °С	
Напряжение разомкнутой цепи, В	
Метод тестирования	
Режим тестирования	
Параметры выбранного режима тестирования	
Результат тестирования (<i>записать в виде таблицы данных или вставить построенный график</i>)	

Инструмент проверки

По деятельности «Подбирать состав, строение и тип топливных элементов (ТЭ) для интегрирования в электрохимические генераторы, подбирать методы и проводить тестирование нужных характеристик»

Критерий оценки	Показатель	Оценка, 1\0
Использован Pt/C катализатор в качестве каталитического материала катода с содержанием платины не менее 20 масс.% не более 80 масс.%	1	
Использован Pt/C катализатор в качестве каталитического материала анода с содержанием платины от 20 масс.% до 40 масс.%	1	
Рассчитанная загрузка платины в каталитических чернилах для катода составляет не менее 0.2 мг/см ² и не более 1 мг/см ²	1	
Рассчитанная загрузка платины в каталитических чернилах для анода составляет не менее 0.1 и не более 0.4 мг/см ²	1	
В пропорциях компонентов для катода и анода указан иономер (мембрана)	1*	
Выбрана марка перфторированной мембраны для ТЭ	1*	
Геометрические параметры мембраны указаны правильно и соответствуют фактическим	1	
Выбрана марка ГДС Freudenberg H23C8 или H24C8 для анода и марка Freudenberg H23C8 или H24C8 ГДС для катода	1	
Геометрические параметры ГДС указаны правильно и соответствуют фактическим	1*	
Время и метод гомогенизации чернил выбраны правильно	2	
Температура нанесения чернил составляет от 60 до 100 °С.	2	
В качестве метода оценки фактической загрузки катализатора указано взвешивание (гравиметрия)	2*	
Температура прессования составила 125-135 °С, а время прессования было 1-3 мин.	2*	
Давление при прессовании составило 40-80 атм.	2*	
Электроды на опытном образце находятся в строго симметричных позициях друг относительно друга, с разных сторон от мембраны, катализатором к мембране	2*	
Момент силы при сборке тестовой ячейки составил 8-9 Н м	2	
Давление подаваемых газов находится в интервале от 1 до 5 атм.	3*	
Указанное значение относительной влажности водорода находится в пределах от 0 до 100 %	3	
Указанное значение относительной влажности воздуха находится в пределах от 0 до 100 %	3	
Температура тестирования выбрана в интервале 20...80 °С	3*	
В качестве метода тестирования выбран импедансометрия, и/или потенциометрия или амперометрия	4*	
В качестве режима тестирования выбран метод линейной развертки потенциала со скоростью не более 5 мВ/с Или В качестве режима тестирования выбран метода потенциостатической поляризации с разверткой от	4	

напряжения разомкнутой цепи до 0.2 В с шагом 50-100 мВ и временем шага от 1 до 30 мин. или В качестве режима тестирования выбран метод гальваностатической поляризации диапазоном от 1 до 80 % от максимального тока (ток короткого замыкания) или В качестве режима тестирования выбран импеданс с амплитудой 5-10 мВ и интервалом от МГц до 10-200 мГц в рабочем интервале напряжений		
Представлена корректная таблица данных для выбранного метода (напряжение, В, плотность тока, А/см ²) или корректный график вольтамперной кривой в координатах напряжение, В – плотность тока, А/см ² или спектр импеданса в координатах Найквиста	4	

Знаком «» отмечены критерии, при несоответствии которым проверка прекращается с отрицательным для соискателя результатом.

Вывод эксперта о готовности испытуемого к выполнению трудовой функции фиксируется для каждого обучающегося в следующей таблице.

Итоговая оценка		дата	эксперт
Баллы	Отметка		
0-19	Компетенция не сформирована		
20-24	Компетенция сформирована		

Образцы оценочных средств для оценки сформированности промежуточных результатов

Спецификация

Цель теста: оценить сформированность знаний и умений к МДК «Принципы работы и тестирования различных типов ХИТ, материаловедение устройств генерации и преобразования водорода»

Знания, умения в соответствии с требованиями к квалификации, на соответствие которым проводится оценка квалификации	Критерии оценки квалификации		Тип и номер задания
	единица содержания	балл	
313. Разбирается в видах, составных элементах и принципах работы различных топливных элементов, причинах их деградации.	Разбирается в видах топливных элементов	1	<u>Задание 1</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает составные элементы ТПТЭ и ТОТЭ и их назначение	1	<u>Задание 2</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Разбирается в принципах работы ТПТЭ	1	<u>Задание 3</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Разбирается в принципах работы ТОТЭ	1	<u>Задание 4</u> закрытого типа на исключение лишнего
	Знает причины деградации материалов ТПТЭ	1	<u>Задание 5</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Знает причины деградации ТОТЭ	1	<u>Задание 6</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
314. Разбирается в материалах, подходящих к использованию в различных топливных элементах	Разбирается в материалах, подходящих к использованию в ТПТЭ	1	<u>Задание 7</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
	Разбирается в материалах, подходящих к использованию в ТОТЭ	1	<u>Задание 8</u> закрытого типа с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов
315. Знает научные основы методов тестирования материалов для ТЭ и ТЭ в сборе для получения нужных характеристик	Знает виды характеристик ТЭ	5	<u>Задание 9</u> открытого типа с кратким ответом-дополнением
	Разбирается в методах оценки характеристик ТЭ и батарей ТЭ	5	<u>Задание 10</u> открытого типа с кратким ответом-дополнением
	Разбирается в методах оценки характеристики материалов для ТЭ	5	<u>Задание 11</u> открытого типа с кратким ответом-дополнением

У11. Умеет подбирать материалы для использования в различных типах ТЭ, подходящих для интеграции в энергоустановки разной мощности и проводить тестирование топливных элементов	Умеет подбирать материалы для использования в ТПТЭ	1	<u>Задание 12</u> закрытого типа на установление соответствия
	Умеет подбирать материалы для использования в ТОТЭ	1	<u>Задание 13</u> закрытого типа на установление соответствия
	Умеет подбирать методы для тестирования ТЭ	1	<u>Задание 14</u> закрытого типа на установление соответствия

Требования к условиям процедуры тестирования.

Обучающимся предоставляется доступ к персональному компьютеру с тестовым заданием. Тестовое задание организовано в окне плеера с кнопкой управления «Далее» и навигатором-оглавлением по списку вопросов, дающим возможность выбора вопроса. Ответ на все вопросы теста является обязательным. После выбора или ввода ответа надо нажать кнопку «далее», после чего показывается окно-индикатор, со сведениями о правильном или неправильном прохождении данного пункта задания. Верный ответ не показывается. Каждое закрытое задание оценивается в 1 балл, каждое открытое задание оценивается в 5 баллов. На прохождение всего теста дается две попытки.

Помещение:	Особых требований нет
Оборудование:	Персональный компьютер
Инструменты:	Google Chrome версия 106.0.5249.103 или выше, Калькулятор (встроенная программа)
Расходные материалы:	–
Доступ к дополнительным инструкциям и справочным материалам:	нет
Норма времени:	1 час

Требования к кадровому обеспечению оценки

Оценщик (эксперт):	Высшее образование по естественно-научному профилю (химия, физика)
Ассистент:	Особых требований нет

Инструкция по подсчету баллов

Вывод эксперта о готовности испытуемого к обучению по программе курса делается на основании суммарного процента верных ответов (всего 26 баллов – 100%) в следующей таблице.

Итоговая оценка		дата	эксперт
Процент правильных ответов	Отметка		
0-79	Образовательный результат не сформирован (неудовлетворительно)		
80-85	Образовательный результат частично сформирован (удовлетворительно)		

86-94	Образовательный результат в целом сформирован (хорошо)		
95-100	Образовательный результат полностью сформирован (отлично)		

Инструмент оценки

Инструкция: Откройте тестовое задание и выполняйте его последовательно, следуя инструкции каждого пункта задания. Задания предусматривают выбор верного ответа или ввод числового значения. Выбор ответа или ввод значения является обязательным. После выбора или ввода ответа надо нажать кнопку «далее», после чего Вам будет показан индикатор, свидетельствующий о правильном или неправильном прохождении данного пункта задания. Пользуясь навигатором-оглавлением, Вы можете перемещаться между вопросами задания. Для успешного прохождения тестового задания необходимо набрать 80% правильных ответов. Каждое тестовое задание оценивается в 1 балл, каждое открытое задание оценивается в 5 баллов. На прохождение всего теста дается две попытки.

Пример тестового задания:

Ключи выделены жирным

- Выберите верный ответ.
Какой тип топливных элементов в настоящий момент наиболее широко используется для мобильных приложений?
А) Твердооксидные;
Б) С протонообменной мембраной;
В) Щелочные;
Г) Форсфорнокислотные;
Д) Спиртовые
- Выберите все верные ответы.
Обязательными элементами конструкции топливных элементов с протонообменной мембраной или твердооксидных топливных элементов являются
 - Биполярные или монополярные пластины**
 - Система подачи топлива
 - Система подачи окислителя
 - Регулятор потока газов
 - Мембранно-электродный блок**
 - Система охлаждения
- Выберите все верные ответы.
Энергия в твердополимерных топливных элементах хранится
А) В электродах;
Б) В двойном электрическом слое;
В) Вне топливных элементов.
- Выберите верный ответ.

Для ТОТЭ не является важным

А) Ионная проводимость

Б) Электронная проводимость

В) Чистота топлива

Г) Газопроницаемость

Д) Стойкость к взаимодействию с материалом электролита

В) Схожие коэффициента термического расширения с другими конструкционными и функциональными материалами конструкции

5. Выберите все верные ответы.

К деградации мембраны в ходе работы ТПТЭ приводит

- Образование воды на стороне катода
- Миграция протонов
- Использование прессования при сборке мембранно-электродного блока
- Образование пероксидных соединений на стороне катода**
- Растворение и переосаждение платины с катодного катализатора**
- Вынос ионов фтора
- Деградация металлических биполярных пластин**

6. Выберите верный ответ.

Деградацию анодного материала в ТОТЭ вызывает

А) **агломерация фаз в составе композитного электрода**

Б) образование летучих соединений хрома

В) примесь углеродсодержащих соединений в топливе

Г) **осаждение сажи на поверхности анода**

Д) образование трехфазной границы

Е) **многократный режим запуска-остановки ТЭ.**

7. Выберите верный ответ.

В качестве мембраны в ТПТЭ можно использовать

А) углеводородные предельные полимеры с фиксированными сульфогруппами

Б) углеводородные непредельные полимеры с фиксированными сульфогруппами

В) перфторированные разветвленные углеродные полимеры с фиксированными сульфогруппами

Г) перфторированные разветвленные углеродные полимеры с фиксированными четвертичными азогруппами

8. Выберите верный ответ.

Добавка электролита в материал анода ТОТЭ требуется для

- увеличения границы электрод/электролит;**
- уменьшения пористости анода;

- исключительных случаев улучшения КТР

9. Дополните выражение, заполнив пропуски.

Основной характеристикой работы любого топливного элемента является _____ характеристика, отражающая зависимость _____ ячейки от _____.

Ключ: вольтамперная, напряжения, плотности (силы) тока.

10. Дополните перечисленные методы, используемые для оценки характеристик ТЭ и батарей ТЭ

Линейная вольтамперометрия

Хронопотенциометрия

Метод измерения электрохимического импеданса

Ключ: хроноамперометрия

11. Запишите пропущенный метод оценки электродного материала для ТЭ

хроноамперометрия

циклическая вольтамперометрия,

хронопотенциометрия

импедансная спектроскопия

Ключ: вращающегося дискового электрода

12. Установите соответствие материалов и конструктивных элементов мембранно-электродного блока ТПТЭ. Одному конструктивному элементу могут соответствовать несколько материалов. Один материал лишний. Заполните таблицу.

Конструкционный элемент МЭБ ТПТЭ	
1	Анодный каталитический слой
2	Катодный каталитический слой
3	Анод
4	Катод
5	Мембрана

Материалы	
А	20 масс.% Pt/C, перфторированный сульфокатионообменный полимер в виде суспензии
Б	Перфторированный сульфокатионообменный полимер в виде пленки
В	40 масс.% Pt/C, перфторированный сульфокатионообменный полимер в виде суспензии
Г	Пористая углеродная бумага с микропористым слоем
Д	Стеклоуглерод

1	2	3	4	5

Ключ:

1	2	3	4	5
А	В	А, Г	В, Г	Б

13. Установите соответствие материалов типу конструкционного элемента ТОТЭ. Одному типу конструкционного элемента могут соответствовать несколько материалов. Заполните таблицу.

Тип конструкционного элемента ТОТЭ	
1	Твердоэлектролитная мембрана
2	Буферный электролитный слой
3	Анод
4	Катод
5	Коммутационный материал

Материалы	
А	$\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$
Б	$\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}_{2.85}$
В	Сталь Crofer 22 APU
Г	$\text{Zr}_{0.84}\text{Y}_{0.16}\text{O}_{1.92}$
Д	$\text{Ni}/\text{Zr}_{0.84}\text{Y}_{0.16}\text{O}_{1.92}$
Е	$\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_{3-\delta}$
Ж	$\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CrO}_{3-\delta}$
И	La_2NiO_4

1	2	3	4	5

Ключ:

1	2	3	4	5
А, Б, Г	А	Д	Е, Ж	В, И

14. Установите соответствие методов определяемым характеристикам топливного элемента. Одной характеристике могут соответствовать несколько методов. Один метод лишний. Заполните таблицу

Определяемая характеристика топливного элемента	
1	Вольтамперная характеристика
2	Степень деградации катодного слоя
3	Степень деградации мембраны

Метод определения	
А	Хронопотенциометрия при постоянном токе
Б	Циклическая вольтамперометрия
В	Сканирующая электронная микроскопия
Г	Фторселективный электрод
Д	Хроноамперометрия в инертном газе

1	2	3

Ключ:

1	2	3
А, Б	Б, В	Г, В

Учебно-методические материалы для обучающихся

Для выполнения практических заданий рекомендуется составлять опорные конспекты с формулами и определениями по лекционному материалу, что повысит степень усвоения материала, позволит сформулировать вопросы, требующие консультации преподавателя

При выполнении самостоятельных работ рекомендуется оформлять решение так, чтобы упростить проверку. Все вопросы, возникающие в ходе составления конспектов и оформления результатов самостоятельных и практических работ следует записывать для обсуждения на практических и лекционных занятиях, консультациях с преподавателем.

Полный перечень учебных материалов к ПМ 03, согласно таблице 2.2, приведен в Приложении 8.

Методические материалы для преподавателя

При подготовке теоретических занятий рекомендуется составлять презентационный материал к лекциям и практическим занятиям, следуя следующим требованиям:

1. Фон презентаций – светлый (белый). Рекомендуемый шрифт Arial или Calibri, цвет основного текста черный, выделяемых определений, терминов – красный или синий, полужирный. Заголовки слайдов рекомендуется выделять цветом и полужирным шрифтом, не используя capslock, а увеличивая размер шрифта (не более 36 кегль). Не рекомендуется использовать более 2 шрифтов на презентацию, а также использовать более 3 цветов шрифта. Значения цветов должны быть постоянны. Ссылки на иллюстрации и прочие заимствованные материалы можно указывать серым цветом.

2. Основное содержание слайда должно находиться в центре внимания, абзацы текста не должны быть большими, что облегчает зрительное восприятие материала. Желательно использование интерактивных схем, таблиц, графиков, списков. При построении лекций приветствуется подача материала в виде моделирования реальных ситуаций с возможностью выбора обучающимся одной из предложенных траекторий поведения, с получением обратной связи о правильности сделанного выбора.

3. Все иллюстрации, используемые при оформлении слайдов, должны быть выдержаны в едином стиле и иметь высокую четкость изображения. Использование иллюстраций не должно нарушать авторские права третьих лиц.

4. Любая анимация, требующая предельно точной скорости воспроизведения, не должна зависеть от параметров компьютера пользователя.

Рекомендуется заготовить и периодически обновлять список вопросов для таких занятий, которые можно использовать для проведения дискуссии с обучающимися, для обеспечения интерактивности образовательного процесса.

При контроле выполнения студентами практических и самостоятельных заданий следует обращать внимание не только на результат расчета, но и следить за структурой расчета, правильностью использования формул и написания уравнений. Обязательным является подготовка нескольких вариантов практических заданий (вариация) для обеспечения индивидуального выполнения таких заданий.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр проблем химической физики
и медицинской химии Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ:
Зам. директора ФИЦ ПХФ и МХ РАН
/ Казакова А.В. /
« 7 » июля 20 23 г.



Управление дополнительной профессиональной
образовательной программой профессиональной переподготовки
«Водородная и электрохимическая энергетика: от материалов до
устройств»

2023 г.

Программа предназначена для повышения квалификации и (или) профессиональной переподготовки специалистов по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам, специалистов по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, специалистов по компьютерному проектированию технологических процессов, специалистов по испытаниям инновационной продукции наноиндустрии, специалистов в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области материаловедения и технологии материалов, специалистов в области технологического обеспечения полного цикла производства объемных нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них, специалистов по проектированию изделий из наноструктурированных композиционных материалов, специалистов по технологии в области производства продукции с применением наноструктурированных катализаторов и инженерно-технических работников предприятий электрохимических производств с целью приобретения ими профессиональных компетенций в области цифрового моделирования функциональных элементов и состава мембранно-электродных блоков современных электролизных модулей получения водорода

Организация-разработчик: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук

Разработчики:

Золотухина Екатерина Викторовна, доктор хим. наук, главный научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Левченко Алексей Владимирович, кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Герасимова Екатерина Владимировна, кандидат хим. наук, старший научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН

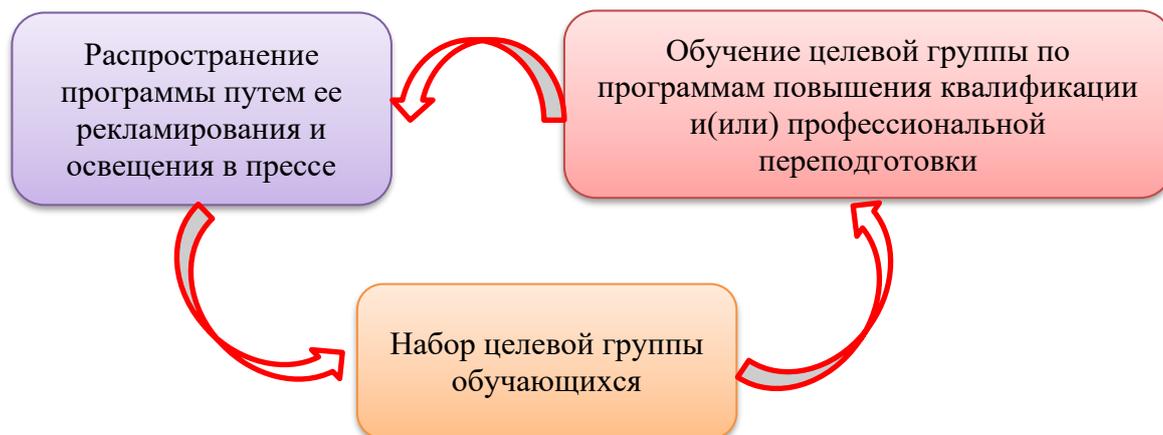
Лысков Николай Викторович, кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

Правообладатель программы: Министерство науки и высшего образования РФ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, 142432, г. Черноголовка, проспект академика Семенова, д.1, www.icp.ac.ru, 8(49652)21602

© ФИЦ ПХФ и МХ РАН, 2023

УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММОЙ

Управление образовательной программой представляет собой замкнутый цикл, представленный для наглядности в виде блок-схемы ниже.



Для распространения образовательной программы в других вузах-партнерах будет осуществляться ряд рекламных мероприятий:

1. Освещение образовательной программы на встречах с индустриальными партнерами Центра компетенций НТИ ФИЦ ПХФ и МХ РАН;
2. Освещение образовательной программы на конференциях, посвященных образованию в РФ
3. Представление образовательной программы на мероприятиях НТИ (Архипелаг, Остров и другие)
4. Представление образовательной программы в Летней и Зимней школах Центра компетенций
5. Представление образовательной программы на научных и промышленных конференциях и выставках вместе с результатами научно-исследовательской деятельности Центра.
6. Представление образовательной программы студентам, аспирантам, преподавателям вузов-партнеров
7. Освещение результатов программы и научных результатов Центра по построению цифровых моделей в прессе (соцсети, каналы, сайты и т.п.).

Набор обучающихся будет осуществляться следующим образом:

Осуществляется набор целевой группы обучающихся из представителей, направляемых индустриальными компаниями, студентов, аспирантов, преподавателей вузов, научных сотрудников институтов. Набор осуществляется прямым образом (по прямому обращению) или по рекомендации партнеров Центра компетенций НТИ при ФИЦ ПХФ и МХ РАН на основании результатов первичного тестирования.

Обучение по программе будет осуществляться как очно (по запросу), так и в форме ЭУК с использованием дистанционной платформы вуза-партнера (Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова). Обучение набранной целевой группы будет осуществляться либо по типу повышения квалификации (в зависимости от выбранного для изучения модуля), либо по полной программе переподготовки кадров (250 часов) с выдачей соответствующих документов (удостоверения о повышении квалификации и (или) диплома о профессиональной переподготовке).

Каждый результат НИР (в случае реализации), имеющий значимость РИД, каждая группа обучающихся будут включаться в статистику или содержательную часть блока рекламирования программы. Таким образом, цикл управления программой замыкается.