

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Вятский государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Начальник Управления  
дополнительного образования

 Золотарева О.В.

«15»  2023 г.

*руч № 03-04-1013-0106-1234*

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

учебной дисциплины (модуля)

**«Материалы и технологии водородной энергетики»**

дополнительной профессиональной программы –  
программы повышения квалификации

**«Материалы и технологии водородной энергетики»**

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями дополнительной профессиональной программы «Материалы и технологии водородной энергетики».

Рабочая программа разработана:

Кузьминым А.В., и.о. заведующего кафедрой технологии неорганических веществ и электрохимических производств Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вятский государственный университет» (ВятГУ), кандидатом химических наук;

Козулиным Д.А., директором Института химии и экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вятский государственный университет» (ВятГУ), кандидатом химических наук;

Козловой Е.А., ведущим научным сотрудником ФИЦ ИК СО РАН г.Новосибирск, профессором РАН, д.х.н.;

Девятериковой С.В., доцентом кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических производств Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вятский государственный университет» (ВятГУ), кандидатом технических наук.

© Вятский государственный университет, 2023

© Кузьмин А.В., 2023

© Козулин Д.А., 2023

© Козлова Е.А., 2023

© Девятерикова С.В., 2023

# 1. РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

## 1.1 Пояснительная записка

Актуальность и значение учебной дисциплины «Материалы и технологии водородной энергетики» определяются тем, что в настоящее время происходит постепенный переход к «малоуглеродной» и «безуглеродной» энергетике, в том числе за счет использования водорода как высокоэффективного и экологически чистого энергоносителя.

### Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины	Совершенствование и (или) получение новой компетенции, необходимой для профессиональной деятельности слушателя, и (или) повышение его профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации.
Задачи учебной дисциплины	<ul style="list-style-type: none"><li>- ознакомление с историей, концепцией, составными частями водородной энергетики и химической технологией топлива;</li><li>- изучение современных способов хранения и транспортировки водорода;</li><li>- ознакомление с топливными элементами и протонно-керамическими топливными элементами;</li><li>- рассмотрение проблем электрокатализаторов для топливных элементов с протонообменной мембраной;</li><li>- изучение фотокатализа на полупроводниках и солнечной энергетики;</li><li>- ознакомление со способами улавливания, использования и хранения углерода, концепцией устойчивого развития, ESG.</li><li>- рассмотрение структуры, свойств, методов получения полимерных материалов для ПОМТЭ;</li><li>- освоение методов синтеза и формования оксидных материалов для ТОТЭ;</li><li>- анализ материалов и технологий для коммутации ТОТЭ в батарее.</li></ul>

### Компетенции слушателя, формируемые в результате освоения учебной дисциплины / модуля

В результате освоения учебной дисциплины (модуля) слушатель должен демонстрировать следующие результаты обучения:

Виды деятельности	Профессиональные компетенции	Практический опыт	Умения	Знания
ВД 40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности и (в сфере научно-технических, опытно-конструкторских разработок и внедрения химической продукции различного назначения, в сфере метрологии, сертификации и технического контроля качества продукции).	<b>ПК-1</b> Способность проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем и их элементов	Владеть навыками: - систематизации и обработки результатов исследований; - оформления научно-конструкторской документации в области разработок автономных энергетических систем; - использования теоретических знаний на практике	Уметь - пользоваться базами данных (в том числе и патентных), поисковыми системами, картотеками для поиска и систематизации информации в области водородной энергетики; - составлять практические рекомендации по разработке автономных энергетических систем	Знать - правила планирования исследований; - основные требования составления планов и методических программ исследований и разработок; - современные подходы к конструированию и тестированию электрохимических источников энергии

## 1.2 Содержание учебной дисциплины (модуля)

### Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Форма обучения	Общий объем (трудоемкость), час	В том числе аудиторная контактная работа обучающихся с преподавателем, час				Самостоятельная работа, час	Форма промежуточной аттестации
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия		
Очно-заочная с применением ДОТ	70	60	40	20	-	10	-

## Тематический план

№ п/п	Основные разделы и темы учебной дисциплины	Часы		
		Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
1.	Тема 1. Водородная энергетика и химическая технология топлива	4	2	1
2.	Тема 2. Современные способы хранения и транспортировки водорода	4	2	1
3.	Тема 3. Топливные элементы	4	2	1
4.	Тема 4. Протонно-керамические топливные элементы	4	2	1
5.	Тема 5. Электродокаталитизаторы для топливных элементов с протонообменной мембраной	4	2	1
6.	Тема 6. Фотокатализ на полупроводниках и солнечная энергетика	4	2	1
7.	Тема 7. Улавливание, использование и хранение углерода. Концепция устойчивого развития. ESG.	4	2	1
8.	Тема 8. Структура, свойства, методы получения полимерных материалов для ПОМТЭ	4	2	1
9.	Тема 9. Методы синтеза и формования оксидных материалов для ТОТЭ	4	2	1
10.	Тема 10. Материалы и технологии для коммутации ТОТЭ в батареях	4	2	1
	<b>Итого:</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>10</b>

### Матрица соотнесения разделов / тем учебной дисциплины / модуля и формируемых в них компетенций

Разделы / темы учебной дисциплины	Количество часов	Компетенции	
		ПК-1	Общее количество компетенций
Тема 1. Водородная энергетика и химическая технология топлива	7	+	1
Тема 2. Современные способы хранения и транспортировки водорода	7	+	1
Тема 3. Топливные элементы	7	+	1
Тема 4. Протонно-керамические топливные элементы	7	+	1
Тема 5. Электродокаталитизаторы для топливных элементов с протонообменной мембраной	7	+	1
Тема 6. Фотокатализ на полупроводниках и	7	+	1

солнечная энергетика			
Тема 7. Улавливание, использование и хранение углерода. Концепция устойчивого развития. ESG.	7	+	1
Тема 8. Структура, свойства, методы получения полимерных материалов для ПОМТЭ	7	+	1
Тема 9. Методы синтеза и формования оксидных материалов для ТОТЭ	7	+	1
Тема 10. Материалы и технологии для коммутации ТОТЭ в батарее	7	+	1
<b>Итого</b>	<b>70</b>		

### Краткое содержание учебной дисциплины:

#### **Тема 1. Водородная энергетика и химическая технология топлива.**

Ключевые задачи водородной энергетики, история применения водорода в промышленности, тренды развития и технологические решения водородной промышленности, топливные элементы, основные методы получения и очистки водорода, применение водорода и синтез-газа в энергоустановках.

#### **Тема 2. Современные способы хранения и транспортировки водорода.**

Водород как вторичный энергоноситель, физические способы хранения водорода, метанирование диоксида углерода, жидкие органические источники водорода, аммиак и его роль в низкоуглеродной экономике, хранение водорода в твердом состоянии, металлогидридные системы для хранения водорода.

#### **Тема 3. Топливные элементы.**

Принцип работы топливного элемента, классификация топливных элементов по типу электролита и рабочим температурам, типичные функциональные материалы для топливных элементов, твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ), разновидности геометрии ТОТЭ, электролиты и электродные материалы ТОТЭ, энергоустановки на основе ТОТЭ.

#### **Тема 4. Протонно-керамические топливные элементы (ПКТЭ).**

Преимущества ПКТЭ по сравнению с другими типами топливных элементов, протонная проводимость в оксидах, электрохимические устройства с протонпроводящими оксидными электролитами, классификация протонпроводящих оксидов, технологические основы формирования электролитов ПКТЭ, оксиды с тройной проводимостью, электродные материалы ПКТЭ, технологические подходы к созданию и характеристики ПКТЭ, перспективы применения ПКТЭ.

### **Тема 5. Электрокатализаторы для топливных элементов с протонообменной мембраной (ПОМТЭ).**

Устройство и принцип работы ПОМТЭ, требования к катализаторам ПОМТЭ, катализаторы на основе платины, коммерческие варианты зарубежных и российских катализаторов, современные научные исследования в области электрокатализаторов ПОМТЭ, электрокатализаторы из неблагородных металлов.

### **Тема 6. Структура, свойства, методы получения полимерных материалов для ПОМТЭ.**

Типы полимерных материалов, применяемых в ПОМТЭ, типы полимерных электролитов для ПОМТЭ, синтез и химическое строение ионообменных мембран, микроструктура ионообменных мембран, ионный перенос в полимерных электролитах, модификация ионообменных мембран.

### **Тема 7. Методы синтеза и формования оксидных материалов для ТОТЭ.**

Устройство и принцип работы, требования к микроструктуре функциональных слоев ТОТЭ, методы синтеза оксидных и композитных порошкообразных материалов, влияние условий синтеза на морфологию порошков, методы формования несущих основ ТОТЭ, методы нанесения тонких функциональных слоев ТОТЭ, режимы термообработки и спекания функциональных слоев ТОТЭ.

### **Тема 8. Материалы и технологии для коммутации ТОТЭ в батарее.**

Проблемы коммутации ТОТЭ в условиях высоких температур и агрессивных сред, ключевые материалы для коммутации ТОТЭ, классификация и требования к материалам для герметизации, герметики на основе стекол, технологические основы герметизации ТОТЭ в батарее, классификация и требования к материалам для токовой коммутации, деградация интерконнекторов и отравление ТОТЭ хромом, защитные покрытия для интерконнекторов.

### **Тема 9. Фотокатализ на полупроводниках и солнечная энергетика.**

Возобновляемые источники энергии, энергия солнца, методы получения «зеленого водорода», механизмы фотокатализа на полупроводниках, фотокаталитическое разложение воды, фотокаталитическое восстановление диоксида углерода, фотокатализ под действием видимого света, материалы фотокатализаторов, способы повышения фотокаталитической активности и технологические подходы к созданию фотокатализаторов, композитные фотокатализаторы.

## **Тема 10. Улавливание, использование и хранение углерода. Концепция устойчивого развития. ESG.**

Влияние парниковых газов на климатические изменения и здоровье человека, стратегии улавливания, хранения и утилизации углерода, физические и химические методы поглощения диоксида углерода, технологии с отрицательной эмиссией, концепция устойчивого развития, принципы ESG - экология, социальная политика и корпоративное управление.

## **2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **2.1. Методические рекомендации для преподавателя**

Организация учебного процесса предусматривает применение инновационных форм учебных занятий, основанных на разборе реальных производственных кейсов, развивающих у обучающихся навыки работы с конкретными производственными задачами.

### **2.2. Методические указания для слушателей**

Успешное освоение учебной дисциплины предполагает активное, творческое участие обучающегося на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной работы. Обучающийся обязан посещать лекции и семинарские (практические) занятия, получать консультации преподавателя и выполнять самостоятельную работу.

Выбор методов и средств обучения, образовательных технологий осуществляется преподавателем исходя из необходимости достижения обучающимися планируемых результатов освоения дисциплины, а также с учетом индивидуальных возможностей обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

Изучение дисциплины следует начинать с проработки настоящей рабочей программы, методических указаний и разработок, указанных в программе, особое внимание уделить целям, задачам, структуре и содержанию дисциплины.

Главной задачей каждой лекции является раскрытие сущности темы и анализ ее основных положений. Содержание лекций определяется настоящей рабочей программой дисциплины.

Лекции – это систематическое устное изложение учебного материала. На них обучающийся получает основной объем информации по каждой конкретной теме. Лекции обычно носят проблемный характер и нацелены на освещение наиболее трудных и дискуссионных вопросов, кроме того, они способствуют формированию у обучающихся навыков самостоятельной работы с научной литературой.



Предполагается, что обучающиеся приходят на лекции, предварительно проработав соответствующий учебный материал по источникам, рекомендованным программой. Часто обучающимся трудно разобраться с дискуссионными вопросами, дать однозначный ответ. Преподаватель, сравнивая различные точки зрения, излагает свой взгляд и нацеливает их на дальнейшие исследования и поиск научных решений. После лекции желательно вечером перечитать и закрепить полученную информацию, тогда эффективность ее усвоения значительно возрастает. При работе с конспектом лекции необходимо отметить материал, который вызывает затруднения для понимания, попытаться найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, надо сформулировать вопросы и обратиться за помощью к преподавателю.

Целью практических и лабораторных занятий является проверка уровня понимания обучающимися вопросов, рассмотренных на лекциях и в учебной литературе, степени и качества усвоения материала; применение теоретических знаний в реальной практике решения задач; восполнение пробелов в пройденной теоретической части курса и оказания помощи в его освоении.

Практические (лабораторные) занятия в равной мере направлены на совершенствование индивидуальных навыков решения теоретических и прикладных задач, выработку навыков интеллектуальной работы, а также ведения дискуссий. Конкретные пропорции разных видов работы в группе, а также способы их оценки определяются преподавателем, ведущим занятия.

На практических (лабораторных) занятиях под руководством преподавателя обучающиеся обсуждают дискуссионные вопросы, отвечают на вопросы тестов, закрепляя приобретенные знания, выполняют практические (лабораторные) задания и т.п. Для успешного проведения практического (лабораторного) занятия обучающемуся следует тщательно подготовиться.

Основной формой подготовки обучающихся к практическим (лабораторным) занятиям является самостоятельная работа с учебно-методическими материалами, научной литературой, статистическими данными и т.п.

Изучив конкретную тему, обучающийся может определить, насколько хорошо он в ней разобрался. Если какие-то моменты остались непонятными, целесообразно составить список вопросов и на занятии задать их преподавателю. Практические (лабораторные) занятия предоставляют студенту возможность творчески раскрыться, проявить инициативу и развить навыки публичного ведения дискуссий и общения, сформировать определенные навыки и умения и т.п.

Самостоятельная работа слушателей включает в себя выполнение различного рода заданий (изучение учебной и научной литературы, материалов лекций, систематизацию прочитанного материала, подготовку контрольной работы, решение задач и т.п.), которые ориентированы на более

глубокое усвоение материала изучаемой дисциплины. По каждой теме учебной дисциплины преподаватель предлагает обучающимся перечень заданий для самостоятельной работы. Самостоятельная работа по учебной дисциплине может осуществляться в различных формах (например, подготовка докладов; написание рефератов; публикация тезисов; научных статей; подготовка и защита проекта; другие).

К выполнению заданий для самостоятельной работы предъявляются следующие требования: задания должны исполняться самостоятельно либо группой и представляться в установленный срок, а также соответствовать установленным требованиям по оформлению.

Регулярно рекомендуется отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

Результатом самостоятельной работы должно стать формирование у обучающегося определенных знаний, умений, навыков, компетенций.

При проведении промежуточной аттестации обучающегося учитываются результаты текущей аттестации в течение периода обучения.

Процедура оценивания результатов освоения учебной дисциплины (модуля) осуществляется на основе действующего Положения об организации текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ВятГУ.

Для приобретения требуемых компетенций, хороших знаний и высокой оценки по дисциплине обучающимся необходимо выполнять все виды работ своевременно в течение всего периода обучения.

### **3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **Основная литература**

1. Шпильрайн Э.Э., Малышенко С.П., Кулешов Г.Г. Введение в водородную энергетику // Под ред. В.А. Легасова. М.: «Энергоатомиздат», 1984
2. 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.
3. Висвалл Р. Хранение водорода в металлах. // Водород в металлах: пер. с англ. В 2 т. / Под ред. Г.Алефельда и И.Фелькля.- М., Мир, 1981, Т.2.- С.241-289.
4. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические установки. Москва. Изд-во МЭИ, 2005.
5. Маккей К. Водородные соединения металлов. - М.: Мир, 1968. - 450 с.

6. А. да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-химические основы, Москва. Изд-во МЭИ, 2010.
7. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В. Водородная энергетика: прошлое, настоящее, виды на будущее. // Российский химический журнал, 2006, т.50, №6, стр. 5-18.
8. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В., Яртысь В.А. Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумуляирования водорода. // Российский химический журнал, 2006, т.50, №6, стр.34-48.
9. Lototskyu M.V., Tarasov B.P., Yartys V.A. Gas-phase applications of metal hydrides. // Journal of Energy Storage. 2023. Article 108165. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108165>.
10. Филиппов С.П., Ярославцев А.Б. Водородная энергетика: перспективы развития и материалы. Успехи химии, 2021, том 90, № 6, с.627-643.
11. Иванов-Шиц А. К., Мурин И. В. Ионика твердого тела. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000. Т. 1-2.
12. Вест А. Химия твердого тела. М.: Мир, 1988. Т. 1-2.

#### Дополнительная литература

1. Гуревич Ю. Я. Твердые электролиты. М.: Наука, 1986. 171 с.
2. Укше Е. А., Букун Н. Г. Твердые электролиты. М.: Наука, 1977. 125 с.
3. Bagotsky V.S. Fundamentals of electrochemistry. 2nd ed. Wiley. 2006. 719 p.
4. Bagotsky V.S., Skundin A.M., Volkovich Yu.M. Electrochemical Power Sources: Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors. N.-Y.: Wiley, 2015. - 400 p.
5. Харитонов, В.П., 2006. Автономные ветроэлектрические установки. ГНУ ВИЭСХ, 2006.
6. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981. 360 с.
7. Yu A., Chabot V., Zhang J. Electrochemical Supercapacitors for Energy Storage and Delivery: Fundamentals and Applications. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. 373 p.
8. Каменев Ю.Б., Чезлов И.Г. Современные химические источники тока. Гальванические элементы, аккумуляторы, конденсаторы. Учебно-справочное пособие. Санкт-Петербург, СПбГУКиТ, 2009. — 90 с.
9. Коровин Н.В., Скундин А.М. Химические источники тока. М.: МЭИ, 2003. — 740 с.
10. Коровин НВ. Топливные элементы и энергоустановки на их основе. Обнинск: Изд-во ГНЦ, 1990.
11. Кромптон Т. Первичные источники тока. Перевод с англ. М.: Мир, 1986. – 328 с.
12. Чеботин В.Н., Перфильев М.В. Электрохимия твёрдых электролитов. М.: Химия. 1978. 312 с.

13. 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.

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Портал дистанционного обучения ВятГУ.
2. Раздел официального сайта ВятГУ, содержащий описание образовательной программы.

**Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса**

**Перечень специализированных аудиторий (лабораторий)**

Вид занятий	Назначение аудитории
Практика, лекция, семинар	Учебная аудитория.
Самостоятельная работа	Читальные залы библиотеки

**Перечень специализированного оборудования**

Перечень используемого оборудования
Мультимедиа-проектор с экраном настенным
Ноутбук (персональный компьютер)

**Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по учебной дисциплине**

№ п/п	Наименование ПО	Краткая характеристика назначения ПО	Производитель ПО и/или поставщик ПО
1	Программная система с модулями для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ»	Программный комплекс для проверки текстов на предмет заимствования из Интернет-источников, в коллекции диссертаций и авторефератов Российской государственной библиотеки (РГБ) и коллекции нормативно-правовой документации LEXPRO	ЗАО "Анти-Плагиат"
2	Microsoft Office 365 Student Advantage	Набор веб-сервисов, предоставляющий доступ к различным программам и услугам на основе платформы Microsoft Office, электронной почте бизнес-класса, функционалу для общения и	ООО "Рубикон"

		управления документами	
3	Office Professional Plus 2013 Russian OLP NL Academic.	Пакет приложений для работы с различными типами документов: текстами, электронными таблицами, базами данных, презентациями	ООО "СофтЛайн" (Москва)
4	Windows 7 Professional and Professional K	Операционная система	ООО "Рубикон"
5	Kaspersky Endpoint Security для бизнеса	Антивирусное программное обеспечение	ООО «Рубикон»
6	Информационная система КонсультантПлюс	Справочно-правовая система по законодательству Российской Федерации	ООО «КонсультантКиров»
7	Электронный периодический справочник «Система ГАРАНТ»	Справочно-правовая система по законодательству Российской Федерации	ООО «Гарант-Сервис»
8	Security Essentials (Защитник Windows)	Защита в режиме реального времени от шпионского программного обеспечения, вирусов.	Microsoft

#### **4. МАТЕРИАЛЫ, УСТАНОВЛИВАЮЩИЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ (ТКУ) И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СЛУШАТЕЛЕЙ**

*Формы ТКУ:*

- коллоквиум;
- контрольная работа.

*Формы самостоятельной работы:*

- конспектирование;
- работа с лекционным материалом: проработка конспекта лекций, работа на полях конспекта с терминами, дополнение конспекта материалами из рекомендованной литературы;
- контрольная работа в письменном виде.

#### **5. МАТЕРИАЛЫ, УСТАНОВЛИВАЮЩИЕ СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ АТТЕСТАЦИЙ**

Не предусмотрена.