

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Электротехника и теплоэнергетика»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

Б1.В.ДВ.4.1 «Системы получения, хранения и транспортировки водородного топлива»

по направлению

13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

по профилю

«Промышленная теплоэнергетика»

Форма обучения – очная, заочная

Санкт-Петербург
2025

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа рассмотрена, обсуждена на заседании кафедры

«Электротехника и теплоэнергетика»

Протокол № 4 от 05. 12 2024 г.

Заведующий кафедрой

«Электротехника и теплоэнергетика»

_____ К.К.Ким

«05» _____12_____ 2024 г.

Согласовано

Руководитель ОПОП

_____ М.Ю.Кудрин

«05» _____12_____ 2024 г.

1. Цели и задачи дисциплины

Рабочая программа дисциплины «Системы получения, хранения и транспортировки водородного топлива» (Б1.В.ДВ.4.1) (далее – дисциплина) составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (далее - ФГОС ВО), утвержденного «28» февраля 2018 г., приказ Минобрнауки России № 143).

Целью изучения дисциплины является научить обучающихся к профессиональной деятельности, связанной с тематикой «Системы получения, хранения и транспортировки водородного топлива» и формирование у обучающихся знаний в области перспектив развития и имеющегося мирового и отечественного опыта в области получения, хранения и транспортировки водородного топлива, применяемого на транспорте, в тепло- и электроэнергетике.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- изучение основных методов производства, хранения и транспортировки водородного топлива, способов реализации этих методов на практике;
- изучение мирового и отечественного опыта проектирования, конструирования и эксплуатации систем и устройств, предназначенных для производства, хранения и транспортировки водородного топлива, в том числе и с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- критический анализ перспектив развития водородной энергетики и транспорта в РФ с учетом реалий сегодняшнего дня;
- выполнение специальных технических и экономических расчетов при обосновании проектных решений в области производства, хранения и транспортировки водородного топлива.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной образовательной программы

Планируемыми результатами обучения по дисциплине (модулю) является формирование у обучающихся компетенций и/или части компетенций. Сформированность компетенций и/или части компетенций оценивается с помощью индикаторов достижения компетенций.

Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1. Выполнение гидравлических расчетов, расчетов тепловых схем с выбором оборудования и арматуры для проектирования технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей.	
ПК-1.1.1. Знает методики по выполнению гидравлического расчета при проектировании технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов, малых	Обучающийся <i>знает</i> : методики по выполнению гидравлического расчета при проектировании технологических решений объектов производства, хранения и

теплоэлектростанций.	транспортировки водородного топлива.
ПК-1.1.2. Знает величины гидравлических характеристик, удельных потерь для разных типов материалов трубопроводов.	Обучающийся <i>знает</i> : величины гидравлических характеристик, удельных потерь для разных типов материалов трубопроводов и оборудования, предназначенных для производства, транспортировки и хранения водородного топлива.
ПК-1.1.3. Знает правила выполнения и оформления проектной документации в соответствии с требованиями нормативно-технических документов на проектную документацию.	Обучающийся <i>знает</i> : правила выполнения и оформления проектной документации в соответствии с требованиями нормативно-технических документов на проектную документацию на оборудование, предназначенное для производства, транспортировки и хранения водородного топлива.
ПК-1.2.4. Умеет использовать информационно-коммуникационные технологии, в том числе специализированное программное обеспечение для решения задач проектирования.	Обучающийся <i>умеет</i> : использовать информационно-коммуникационные технологии, в том числе специализированное программное обеспечение для решения задач проектирования оборудования, предназначенного для производства, транспортировки и хранения водородного топлива.
ПК-1.3.3. Имеет навыки уточнения диаметров трубопроводов по полученным данным.	Обучающийся <i>имеет</i> навыки расчета и уточнения диаметров трубопроводов и резервуаров для производства, транспортировки и хранения водорода.

3. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока 4 «Дисциплины по выбору».

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		7
Контактная работа (по видам учебных занятий)	48	48
В том числе:		
лекции (Л)	32	32
практические занятия (ПЗ)	16	16
Самостоятельная работа (СРС) (всего)	20	20

Контроль	4	4
Форма контроля (промежуточной аттестации)	Зачет	Зачет
Общая трудоемкость: час / з.е.	72/2	72/2

Для заочной формы обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Курс
		5
Контактная работа (по видам учебных занятий)	12	12
В том числе:		
лекции (Л)	8	8
практические занятия (ПЗ)	4	4
Самостоятельная работа (СРС) (всего)	56	56
Контроль	4	4
Форма контроля (промежуточной аттестации)	Зачет	Зачет
Общая трудоемкость: час / з.е.	72/2	72/2

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и содержание рассматриваемых вопросов

Для очного обучения

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
1	Введение. Историческая справка	Лекция 1. Открытие водорода. Опыты по ожижению. Открытие электролиза. Технологический процесс использования водорода. Самостоятельная работа. Национальные водородные программы	ПК-1.1.3.
2	Основные физико-химические свойства водорода	Лекция 2. Энергетическая плотность водорода: уникальное свойство. Плотность и теплофизические свойства водорода H ₂ Практическое занятие 1. Задачи на химические реакции с водородом. Самостоятельная работа. Жидкий водород.	ПК-1.1.3.
3	Производство водородного топлива	Лекция 3 Классификация типов водорода. Самостоятельная работа. Лекция 4. Способы получения водорода: из природных топлив. Практическое занятие 2. Самостоятельная работа. Железо-паровой метод Лекция 5. Получение водорода методом электролиза: щелочной электролиз, электролиз с твердо-полимерным электролитом. Самостоятельная работа. Высокотемпературный электролиз водяного пара	ПК-1.1.1. ПК-1.1.2. ПК-1.1.3. ПК-1.3.3.

		в ячейках с твердым электролитом Лекция 6 Получение водорода методом электролиза: Твердооксидный электрохимический конвертер, Электролиз воды под давлением. Практическое занятие 3. Лекция 7. Плазмохимия. Лекция 8. Использование ядерной энергетики для получения водорода: Низкотемпературный электролиз, Высокотемпературный электролиз, Термохимическое разложение воды. Практическое занятие 4. Самостоятельная работа. Цикл сульфата висмута. Гибридный цикл серы или цикл Вестингауза Лекция 9. Использование ядерной энергетики для получения водорода: Цикл «йод — сера», Бром-серный цикл, Процесс азотной кислоты, Цикл «медь — хлор», Гибридные циклы: H_2S-цикл. Самостоятельная работа. Издержки различных способов производства водорода. Лекция 10. Типы реакторов для ядерного производства водорода. Концепция атомно-водородной энергетики Практическое занятие 5. Самостоятельная работа. Энергоисточники МГР-100 ВЭП и МГР-100 ПКМ для производства водорода. Лекция 11. Шаровое топливо. Концепция STAR Самостоятельная работа. Лекция 12. Альтернативные методы получения водорода. Практическое занятие 6. . Самостоятельная работа. Использование вещества мантии Земли для получения водорода. Перспективы развития водородной энергетики на основе алюминия.	
6	Транспортировка водородного топлива	Лекция 15. Транспортировка газообразного водородного топлива Самостоятельная работа. Сравнительный анализ существующих методов транспортировки водорода. Лекция 16. Транспортировка жидкого водородного топлива. Практическое занятие 8.	ПК-1.1.2. ПК-1.1.3. ПК-1.2.4. ПК-1.3.3.

6	Транспортировка водородного топлива	Лекция 15. Транспортировка газообразного водородного топлива Самостоятельная работа. Сравнительный анализ существующих методов транспортировки водорода. Лекция 16. Транспортировка жидкого водородного топлива. Практическое занятие 8.	ПК-1.1.2. ПК-1.1.3. ПК-1.2.4. ПК-1.3.3.
---	-------------------------------------	---	--

Для заочного обучения

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
1	Введение. Историческая справка	Самостоятельная работа. Открытие водорода. Опыты по ожигению. Открытие электролиза. Технологический процесс использования водорода. Национальные водородные программы.	ПК-1.1.3.
2	Основные физико-химические свойства водорода	Самостоятельная работа. Энергетическая плотность водорода: уникальное свойство. Плотность и теплофизические свойства водорода H ₂ . Жидкий водород.	ПК-1.1.3.
3	Производство водородного топлива	Лекция 1. Способы получения водорода: из природных топлив. Самостоятельная работа. Классификация типов водорода. Железо-паровой метод Лекция 2. Получение водорода методом электролиза: щелочной электролиз, электролиз с твердо-полимерным электролитом. Практическое занятие 1. Решение задач на электролиз. Самостоятельная работа. Высокотемпературный электролиз водяного пара в ячейках с твердым электролитом. Получение водорода методом электролиза: Твердооксидный электрохимический конвертер, Электролиз воды под давлением. Плазмохимия. Лекция 3. Использование ядерной энергетики для получения водорода: Низкотемпературный электролиз, Высокотемпературный электролиз, Термохимическое разложение воды. Самостоятельная работа. Цикл сульфата висмута. Гибридный цикл серы или цикл Вестингауза	ПК-1.1.1. ПК-1.1.3. ПК-1.2.4. ПК-1.3.3

		Цикл «йод — сера», Бром-серный цикл, Процесс азотной кислоты, Цикл «медь — хлор», Гибридные циклы: H_2S-цикл. Издержки различных способов производства водорода. Типы реакторов для ядерного производства водорода. Концепция атомно-водородной энергетики Энергоисточники МГР-100 ВЭП и МГР-100 ПКМ для производства водорода. Шаровое топливо. Концепция STAR Альтернативные методы получения водорода. Практическое занятие 2. Аспекты проектирования комбинированной установки по производству водорода.	
4	Хранение водородного топлива	Самостоятельная работа. Классификация и описание методов хранения водорода. Предотвращение утечки тепла при хранении в жидком состоянии. Хранение водорода в химически связанном состоянии. Технико-экономическая оценка различных вариантов хранения водорода.	ПК-1.1.1. ПК-1.2.4.
5	Транспортировка водородного топлива	Лекция 4. Транспортировка газообразного и жидкого водородного топлива Самостоятельная работа. Сравнительный анализ существующих методов транспортировки водорода.	ПК-1.1.2. ПК-1.1.3. ПК-1.2.4. ПК-1.3.3.

5.2 Разделы дисциплины и виды занятий

Для очной формы обучения

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	СРС	Всего
1	Введение. Историческая справка	2	-	-	2	4
2	Основные физико-химические свойства водорода	2	2	-	4	8
3	Производство водородного топлива	20	10	-	10	40
4	Хранение водородного топлива	4	2	-	2	8
5	Транспортировка водородного топлива	4	2	-	2	8
Контроль						4
	Итого	32	16	-	20	72

Для заочной формы обучения

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	СРС	Всего
1	Введение. Историческая справка	-		-	4	4
2	Основные физико-химические свойства водорода	-	-	-	8	8
3	Производство водородного топлива	6	4	-	20	40
4	Хранение водородного топлива	-	-	-	12	12
5	Транспортировка водородного топлива	2	-	-	12	14
Контроль						4
	Итого	8	4	-	56	72

6. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Оценочные материалы по дисциплине является неотъемлемой частью рабочей программы и представлен отдельным документом, рассмотренным на заседании кафедры и утвержденным заведующим кафедрой.

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Порядок изучения дисциплины следующий:

1. Освоение разделов дисциплины производится в порядке, приведенном в разделе 5 «Содержание и структура дисциплины». Обучающийся должен освоить все разделы дисциплины, используя методические материалы дисциплины, а также учебно-методическое обеспечение, приведенное в разделе 8 рабочей программы.

2. Для формирования компетенций обучающийся должен представить выполненный курсовой проект или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, предусмотренные текущим контролем успеваемости (см. оценочные средства по дисциплине).

По итогам текущего контроля успеваемости по дисциплине, обучающийся должен пройти промежуточную аттестацию (см. оценочные материалы по дисциплине).

8. Описание материально-технического и учебно-методического обеспечения, необходимого для реализации программы магистратуры по дисциплине

8.1. Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой бакалавриата, укомплектованные специализированной учебной мебелью и оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой

аудитории: настенным экраном (стационарным), маркерной или меловой доской, мультимедийным проектором (стационарным).

Все помещения, используемые для проведения учебных занятий и самостоятельной работы, соответствуют действующим санитарным и противопожарным нормам и правилам.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

8.2. Университет обеспечен необходимым комплектом лицензионного программного обеспечения, установленного на технических средствах, размещенных в специальных помещениях и помещениях для самостоятельной работы: операционная система Windows, MS Office, Антивирус Касперского.

8.3. Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к современным профессиональным базам данных:

При изучении дисциплины профессиональные базы данных не используются.

8.4. Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к информационным справочным системам:

при изучении дисциплины информационные справочные системы не используются.

8.5. Перечень печатных изданий, используемых в образовательном процессе:

Учебная литература:

1.1. Водородная энергетика. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pnpi.spb.ru;http://lepfed.narod.ru/>.

1.2. Электролиз, или вода вместо бензина. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.skyzone.ru/tech/meyer_h2.htm.

1.3. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: справочник. М.: Химия, 1989.

1.4. Радченко, Р. В. Р15 Водород в энергетике: учеб. пособие / Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 229 с.

Нормативно-правовая документация:

2.1. Об электроэнергетике: федеральный закон от 26.03.2003 г. № 35-ФЗ (с изм. от 30.03.2016 г.) // Российская газета. — № 60. — 01.04.2003 г.

2.2. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. — 30.11.2009 г. — № 48. — Ст. 5711.

2.3. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики: указ Президента Российской Федерации от

04.06.2008 г. № 889 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 09.06.2008 г. – № 23

2.4. Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.01.2009 г. № 1-р (с изм. от 10.11.2015 г.) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 26.01.2009 г. – № 4

2.5. Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 г. № 1715-р // Собрание законодательства Российской Федерации. – 30.11.2009 г. – № 48.

2.6. ГОСТ Р 56248-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Водород жидкий. ОКС 71.100.20. Дата введения 2015-09-01.

2.7. Распоряжение Правительства РФ от 5 августа 2021 г. № 2162-р Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в РФ.

2.8. Распоряжение Правительства РФ ОТ 12.10.2020 N 2634-Р «Об утверждении плана мероприятий "Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года"».

Другие издания:

3.1. Билоненко, Р. А. Производство водорода из энергоемких веществ // Альтернатив. энергетика и экология. — 2013. — № 5, Ч.1. — С. 45-51. — (Водородная экономика).

3.2. Высокотемпературная ядерная энерготехнология на основе быстрых реакторов с натриевым теплоносителем для производства водорода / [и др.]. // Атом. энергия. — 2014. — Т. 116, вып. 4. — С. 194-203.

3.3. Голуб, Н. Б. Повышение выхода водорода при совместной конверсии сырья разного происхождения // Альтернатив. энергетика и экология. — 2014. — № 19. — С. 53-57. — (Водородная экономика. Новые способы получения водорода).

3.4. Григорьев, С. А. Водородные электрохимические системы с твердым полимерным электролитом // Альтернатив. энергетика и экология. — 2014. — № 10. — С. 8-26. — (Водородная экономика).

3.5. Дубровский, А. Р. Микрореактор для паровой конверсии монооксида углерода с каталитической системой нового поколения / ФГБУН "Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени Кольского научного центра РАН" (Апатиты, Россия) // Актуал. проблемы физики твердого тела. — Т. 3. — С. 264-265. — (Секция Е, Прикладные разработки: перспективные материалы, изделия, устройства и технологии).

3.6. Ибрагимов, И. М. Фотолиз воды как источник энергии // Энергия: экономика, техника, экология. — 2015. — № 1. — С. 26-29.

3.7. Коробцев, С. В. Безопасность водородной энергетики // Энергия: экономика, техника, экология. — 2013. — № 2. — С. 9-16.

3.8. Латышенко, К. П. Плазмохимический реактор по переработке полимерных отходов. Ч. 2, Плазмохимическая технология — основа производства водорода из полимерных отходов // Энцикл. инженера-химика. — 2014. — № 5. — С. 36-42. — (Экология).

- 3.9. Минкина, В. Г. Получение водорода из борогидрида натрия с использованием сеточного никелевого катализатора // Хим. технология. — 2015. — № 7. — С. 408-414. — (Каталитические процессы).
- 3.10. Варшавский И.Л. Энергоаккумулирующие вещества и их использование.— К.: Наукова думка, 1980.
- 3.11. Обзор методов хранения водорода. Институт проблем материаловедения НАН Украины. <http://shp.by.ru/sci/fullerene/forums/ichms/2003/>.
- 3.12. Б.И. Ценер, Н.Ю. Лызлов. Металл-водородные электрохимические системы.Л., «Химия», 1989.

8.6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых в образовательном процессе:

1. Личный кабинет обучающегося и электронная информационно-образовательная среда [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sdo.pgups.ru/> (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).
2. Электронная библиотечная система ЛАНЬ [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>
3. Электронная библиотечная система ibooks.ru [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ibooks.ru/>
4. Электронная библиотека ЮРАЙТ [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/>
5. Электронная библиотека «Единое окно к образовательным ресурсам» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/>

Разработчик рабочей программы,
профессор кафедры «Электротехника и
теплоэнергетика»
01 декабря 2024г.

К.К.Ким