ЦЕНТР ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Москва, ул. 2-ая Бауманская, д.5, стр.1
+7 (495) 187-85-85
do@bmstu.ru
do.bmstu.ru

Программа курса «Криогенные технологии природного газа, водорода и получения редких газов»

Номер	Название темы	Количество часов	Описание темы
1	Свойства СПГ	4	Состав СПГ. Физические свойства. История получения и использования.
2	Особенности безопасного хранения СПГ	6	Особенности сжиженного природного газа. Пожаро- и взрывоопасность СПГ при взаимодействии с кислородом, находящимся в воздухе и чистым кислородом. Материалы, используемые для изготовления ёмкостей для СПГ. Меры безопасности при возможном проливе СПГ.
3	Безопасность при транспортировке СПГ	5	Виды рабочих колёс турбомашин. Сопловые аппараты. Особенности применения турбокомпрессоров и турбодетандеров низкотемпературной техники. Запорно-регулирующая арматура кислородных компрессорных установок.
4	Основы процессов расширения и сжатия в турбомашинах	4	Общее уравнение энергии в тепловой и механической формах для турбомашин. Уравнение расхода, коэффициент расхода. Изображение рабочего процесса расширения и сжатия в T - S координатах.
5	Особенности проектирования и расчёта турбомашин	6	Термодинамические основы расчета турбомашин. Основные виды гидравлических потерь. Уравнение расхода газа для колеса турбомашины. Коэффициент расхода. Число лопаток рабочих колес.
6	Конструкции турбодетандеров и турбокомпрессоров	5	Виды рабочих колес турбомашин. Сопловые аппараты. Особенности применения турбокомпрессоров и турбодетандеров низкотемпературной техники.
7	Водород и его основные свойства	5	Происхождение водорода. Водород - самый легкий газ. Теплофизические свойства водорода. Уникальность водорода.
8	Получение, хранение и транспортировка водорода	7	Получение водорода из углеводородов. Электролиз. Цветовая гамма водорода в зависимости от способов его получения. Хранение в газообразном, жидком и связанном состояниях. Практическое занятие: Способы хранения водорода: компримированное, связанное и в жидком виде. Гидридообразующие соединения.
9	Применение водорода в энергетике	8	Прямое сжигание водорода в двигателях. Топливные элементы - конструкция и применение. Добавки водорода в традиционное углеводородное топливо для увеличения эффектности и уменьшения вредных выбросов. Практическое занятие: Энергетические установки, использующие

			водород, как топливо. Топливные элементы.
10	Редкие газы и их свойства	5	Понятие редких газов. Источники получения редких газов. Основные физические свойства.
11	Получение редких газов	8	Общие принципы низкотемпературной ректификации. Получение неона из неоно-гелиевой смеси. Получение криптона и ксенона. Практическое занятие: Разделение газовых смесей методом низкотемпературной ректификации. Особенности работы ректификационной колонны.
12	Методы получения газов высокой чистоты	7	Процессы сорбции. Основные типы адсорбенотов, используемые для очистки газов от примесей. Особенности низкотемпературной адсорбции. Практическое занятие: Процессы поглощения газов сорбентами. Сорбционная очистка газов от примесей.
13	Итоговая аттестация	2	Зачёт.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
МГТУ им. Н.Э. Баумана
_____ С.В. Альков
«23» января 2026 г.

Дополнительное профессиональное образование

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА
ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ
«Криогенные технологии природного газа, водорода и получения редких газов»

Регистрац. № 06.05-11/15

Москва, 2026

Оглавление

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДПП 4

1.1. Цель ДПП 4

1.2. Планируемые результаты обучения 4

1.3. Дополнительные характеристики ДПП 4

1.4. Перечень профессиональных компетенций в рамках имеющейся квалификации, качественное изменение которых осуществляется в результате обучения 4

1.5. Соответствие видов деятельности профессиональным компетенциям и их составляющих 5

2. УЧЕБНЫЙ ПЛАН ДПП 6

2.1. Категория слушателей ДПП 6

2.2. Общая трудоёмкость программы, аудиторная и самостоятельная работа 6

2.3. Форма обучения 6

2.4. Учебный план 6

3. КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК 6

4. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДПП 8

5. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДПП 20

5.1. Организационные условия реализации ДПП 20

5.2. Педагогические условия реализации ДПП 20

5.3. Учебно-методическое обеспечение ДПП 20

5.4. Методические рекомендации 21

6. ФОРМЫ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ДПП 22

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ 23

7.1. Паспорт комплекта оценочных средств 23

7.2. Комплект оценочных средств 23

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДПП

Программа подготовлена на основе:

- Федерального закона от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- требований Приказа Минобрнауки России от 01.07.2013 года № 499 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам»;
- методических рекомендаций-разъяснений Минобрнауки России по разработке дополнительных профессиональных программ на основе профессиональных стандартов от 22 апреля 2015 года № ВК-1030/06.

Реализация программы ДПП направлена на получение новой компетенции, необходимой для профессиональной деятельности.

1.1. Цель ДПП

Сформировать у обучающихся знания, навыки и умения в области обеспечения надежного и эффективного ведения технологических процессов производства, хранения и отгрузки сжиженного природного газа (далее – СПГ).

1.2. Планируемые результаты обучения

Планируемые результаты обучения по ДПП:

- освоение профессиональных компетенций в процессе изучения перечисленных тем в учебном плане;
- успешное освоение программы повышения квалификации;
- успешное прохождение итоговой аттестации (зачет).

Обучающимся, успешно прошедшим обучение, выполнившим текущие контрольные задания и выдержавшим предусмотренное учебным планом зачет, выдается удостоверение о повышении квалификации по ДПП «Криогенные технологии природного газа, водорода и получения редких газов».

1.3. Дополнительные характеристики ДПП

Характеристики новой квалификации определены в приказе Минтруда России от 16.09.2022 №566н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по производству, хранению и отгрузке сжиженного природного газа».

Вид профессиональной деятельности:

- Производство, хранение и отгрузка сжиженного природного газа (Код 19.076).

Трудовые функции:

- Инженерно-техническое обеспечение производства, хранения и отгрузки СПГ (А/01.6).

1.4. Перечень профессиональных компетенций в рамках имеющейся квалификации, качественное изменение которых осуществляется в результате обучения

Получаемые компетенции базируются на основании Приказа Минобрнауки России от 01 июня 2020 г. № 698 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения».

Перечень компетенций:

ОПК-1. Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности.

1.5. Соответствие видов деятельности профессиональным компетенциям и их составляющих

Профессиональные компетенции	Практический опыт	Умения	Знания
Инженерно-техническое обеспечение производства, хранения и отгрузки СПГ (А/01.6)			
ОПК-1. Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Контроль соблюдения технологического режима и производственной безопасности процесса производства, хранения и отгрузки СПГ	Определять соответствие состояния технологического оборудования по производству, хранению и отгрузке СПГ требованиям эксплуатационных регламентов	Физико-химические свойства природного газа, нестабильных жидких углеводородов, газовых и жидких сред, химических реагентов, порядок и правила их подготовки, переработки и утилизации

2. УЧЕБНЫЙ ПЛАН ДПП

2.1. Категория слушателей ДПП

Имеющаяся квалификация (требования к слушателям) – к освоению ДПП допускаются лица, имеющие высшее образование.

2.2. Общая трудоёмкость программы, аудиторная и самостоятельная работа

Общая трудоемкость программы 72 академических часа, из них 36 академических часов аудиторной работы, 34 академических часа самостоятельной работы и 2 академических часа итоговой аттестации.

2.3. Форма обучения

Форма обучения по ДПП – очная с применением дистанционных образовательных технологий.

2.4. Учебный план

ДПП «Криогенные технологии природного газа, водорода и получения редких газов» реализуется одним модулем.

№ п/п	Наименование темы, модуля	Форма контроля	Всего, час	В том числе			
				Лекции	Практ. занятия	Самост. работа	Итоговая аттестация
1.	Свойства СПГ	Устный опрос	4	2	-	2	-
2.	Особенности безопасного хранения СПГ	Устный опрос	6	3	-	3	-
3.	Безопасность при транспортировке СПГ	Устный опрос	5	2	-	3	-
4.	Основы процессов расширения и сжатия в турбомашинах	Устный опрос	4	2	-	2	-
5.	Особенности проектирования и расчёта турбомашин	Устный опрос	6	3	-	3	-
6.	Конструкции турбодетандеров и турбокомпрессоров	Устный опрос	5	2	-	3	-
7.	Водород и его основные свойства	Устный опрос	5	2	-	3	-
8.	Получение, хранение и транспортировка водорода	Устный опрос	7	2	2	3	-
9.	Применение водорода в энергетике	Устный опрос	8	2	3	3	-
10.	Редкие газы и их свойства	Устный опрос	5	2	-	3	-
11.	Получение редких газов	Устный опрос	8	2	3	3	-

12.	Методы получения газов высокой чистоты	Устный опрос	7	2	2	3	-
13.	Итоговая аттестация	-	2	-	-	-	2
	ИТОГО	-	72	26	10	34	2

3. КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК

№ п/п	Наименование модуля	1 день	2 день	3 день	4 день	5 день	6 день	7 день	8 день	9 день
1.	Свойства СПГ									
2.	Особенности безопасного хранения СПГ									
3.	Безопасность при транспортировке СПГ									
4.	Основы процессов расширения и сжатия в турбомашинах									
5.	Особенности проектирования и расчёта турбомашин									
6.	Конструкции турбодетандеров и турбокомпрессоров									
7.	Водород и его основные свойства									
8.	Получение, хранение и транспортировка водорода									
9.	Применение водорода в энергетике									
10.	Редкие газы и их свойства									
11.	Получение редких газов									
12.	Методы получения газов высокой чистоты									
13.	Итоговая аттестация									Зачет

Минимальный срок освоения ДПП – 9 дней.

4. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДПП

4.1. Рабочая программа модуля «Криогенные технологии природного газа, водорода и получения редких газов»

4.1.1. Цель изучения модуля: сформировать у обучающихся знания, навыки и умения в области обеспечения надежного и эффективного ведения технологических процессов производства, хранения и отгрузки сжиженного природного газа (далее – СПГ).

4.1.2. Задачи изучения модуля:

1. Формирование знаний о водородной энергетике.
2. Изучение принципов работы турбомашин низкотемпературной техники.
3. Знакомство с безопасностью работы с СПГ.
4. Изучение принципов получения редких газов.

4.1.3. Планируемые результаты обучения

Процесс изучения раздела направлен на формирование следующих компетенций

Код компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по модулю	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
ОПК-1	**Знать:** Физико-химические свойства природного газа, нестабильных жидких углеводородов, газовых и жидких сред, химических реагентов, порядок и правила их подготовки, переработки и утилизации. **Уметь:** Определять соответствие состояния технологического оборудования по производству, хранению и отгрузке СПГ требованиям эксплуатационных регламентов. **Владеть:** Контроль соблюдения технологического режима и производственной безопасности процесса производства, хранения и отгрузки СПГ.	Формы обучения: Фронтальная. Методы обучения: Лекция; Практическое занятие; Самостоятельная работа.

4.1.4 Содержание курса

Тема 1. Свойства СПГ (4 часа)

Лекции (2 часа). Состав СПГ. Физические свойства. История получения и использования.

Самостоятельная работа (2 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Свойства СПГ	Свойства СПГ	Проработка дополнительной литературы	Бармин И.В., Кунис И.Д. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра /Под ред. А.М. Архарова. - М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с. Под ред. А.М. Архарова. – М.; Изд-ство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с.	Устный опрос

Тема 2. Особенности безопасного хранения СПГ (6 часов)

Лекции (3 часа). Особенности сжиженного природного газа. Пожаро- и взрывоопасность СПГ при взаимодействии с кислородом, находящимся в воздухе и чистым кислородом. Материалы, используемые для изготовления ёмкостей для СПГ. Меры безопасности при возможном проливе СПГ.

Самостоятельная работа (3 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Особенности безопасного хранения СПГ	Хранение СПГ	Проработка дополнительной литературы	Бармин И.В., Кунис И.Д. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра /Под ред. А.М. Архарова. - М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с. Под ред. А.М. Архарова. – М.; Изд-ство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с.	Устный опрос

Тема 3. Безопасность при транспортировке СПГ (5 часов)

Лекции (2 часа). Виды рабочих колес турбомашин. Сопловые аппараты. Особенности применения турбокомпрессоров и турбодетандеров низкотемпературной техники. Запорно-регулирующая арматура кислородных компрессорных установок.

Самостоятельная работа (3 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Безопасность при транспортировке СПГ	Транспортировка СПГ	Проработка дополнительной литературы	Антонов, А.Н. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник / А.Н. Антонов, А.М. Архаров, И.А. Архаров. – 2-е изд., испр. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2015. – 533 с. – ISBN 978-5-7038-3931-7.	Устный опрос

Тема 4. Основы процессов расширения и сжатия в турбомашинах (4 часа)

Лекции (2 часа). Общее уравнение энергии в тепловой и механической формах для турбомашин. Уравнение расхода; коэффициент расхода. Изображение рабочего процесса расширения и сжатия в T - S координатах.

Самостоятельная работа (2 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Основы процессов расширения и сжатия в турбомашинах	Процессы в турбомашинах	Проработка дополнительной литературы	Антонов, А.Н. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник / А.Н. Антонов, А.М. Архаров, И.А. Архаров. – 2-е изд., испр. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2015. – 533 с. – ISBN 978-5-7038-3931-77	Устный опрос

Тема 5. Особенности проектирования и расчёта турбомашин (6 часов)

Лекции (3 часа). Термодинамические основы расчета турбомашин. Основные виды гидравлических потерь. Уравнение расхода газа для колеса турбомашины. Коэффициент расхода. Число лопаток рабочих колес.

Самостоятельная работа (3 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Особенности проектирования и расчёта турбомашин	Расчет турбомашин	Проработка дополнительной литературы	Епифанова В. И. Низкотемпературные радиальные турбодетандеры. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Машиностроение, 1974. – 445 с.	Устный опрос

Тема 6. Конструкции турбодетандеров и турбокомпрессоров (5 часов)

Лекции (2 часа). Виды рабочих колес турбомашин. Сопловые аппараты. Особенности применения турбокомпрессоров и турбодетандеров низкотемпературной техники.

Самостоятельная работа (3 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Конструкции турбодетандеров и турбокомпрессоров	Получение редких газов	Проработка дополнительной литературы	Антонов, А.Н. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник / А.Н. Антонов, А.М. Архаров, И.А. Архаров. – 2-е изд., испр. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2015. – 533 с. – ISBN 978-5-7038-3931-77	Устный опрос

Тема 7. Водород и его основные свойства (5 часов)

Лекции (2 часа). Происхождение водорода. Водород – самый легкий газ. Теплофизические свойства водорода. Уникальность водорода.

Самостоятельная работа (3 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Водород и его основные свойства	Получение редких газов	Проработка дополнительной литературы	Антонов, А.Н. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник / А.Н. Антонов, А.М. Архаров, И.А. Архаров. – 2-е изд., испр. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2015. – 533 с. – ISBN 978-5-7038-3931-77	Устный опрос

Тема 8. Получение, хранение и транспортировка водорода (7 часов)

Лекции (2 часа). Получение водорода из углеводородов. Электролиз. Цветовая гамма водорода в зависимости от способов его получения. Хранение в газообразном, жидком и связанном состояниях.

Практические занятия (2 часа). Способы хранения водорода: компримированное, связанное и в жидком виде. Гидридообразующие соединения.

Самостоятельная работа (3 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Получение, хранение и транспортировка водорода	Получение и хранение водорода	Проработка дополнительной литературы	Антонов, А.Н. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник / А.Н. Антонов, А.М. Архаров, И.А. Архаров. – 2-е изд., испр. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2015. – 533 с. – ISBN 978-5-7038-3931-77	Устный опрос

Тема 9. Применение водорода в энергетике (8 часов)

Лекции (2 часа). Прямое сжигание водорода в двигателях. Топливные элементы - конструкция и применение. Добавки водорода в традиционное углеводородное топливо для увеличения эффектности и уменьшения вредных выбросов.

Практические занятия (3 часа). Энергетические установки, использующие водород, как топливо. Топливные элементы.

Самостоятельная работа (3 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Применение водорода в энергетике	Применение водорода в энергетике	Проработка дополнительной литературы	Соренсен Б. Преобразование, передача и аккумулирование энергии: [учебно-справочное руководство] / Соренсен Б.; ред. пер. с англ. Калашников А.Д. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 295 с.: ил. – ISBN 978-5-91559-056-3.	Устный опрос

Тема 10. Редкие газы и их свойства (5 часов)

Лекции (2 часа). Понятие редких газов. Источники получения редких газов. Основные физические свойства.

Самостоятельная работа (3 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Редкие газы и их свойства	Редкие газы	Проработка дополнительной литературы	Антонов, А.Н. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник / А.Н. Антонов, А.М. Архаров, И.А. Архаров. – 2-е изд., испр. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2015. – 533 с. – ISBN 978-5-7038-3931-77	Устный опрос

Тема 11. Получение редких газов (8 часов)

Лекции (2 часа). Общие принципы низкотемпературной ректификации. Получение неона из неоно-гелиевой смеси. Получение криптона и ксенона.

Практические занятия (3 часа). Разделение газовых смесей методом низкотемпературной ректификации. Особенности работы ректификационной колонны.

Самостоятельная работа (3 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Получение редких газов	Получение неона, криптона, ксенона	Проработка дополнительной литературы	Антонов, А.Н. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник / А.Н. Антонов, А.М. Архаров, И.А. Архаров. – 2-е изд., испр. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2015. – 533 с. – ISBN 978-5-7038-3931-77	Устный опрос

Тема 12. Методы получения газов высокой чистоты (7 часов)

Лекции (2 часа). Процессы сорбции. Основные типы адсорбенотов, используемые для очистки газов от примесей. Особенности низкотемпературной адсорбции.

Практические занятия (2 часа). Процессы поглощения газов сорбентами. Сорбционная очистка газов от примесей.

Самостоятельная работа (3 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Методы получения газов высокой чистоты	Газы высокой чистоты	Проработка дополнительной литературы	Антонов, А.Н. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник / А.Н. Антонов, А.М. Архаров, И.А. Архаров. – 2-е изд., испр. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2015. – 533 с. – ISBN 978-5-7038-3931-77	Устный опрос

4.1.5. Оценочное средство для текущего контроля:

Тема 1. Примерные вопросы устного опроса.

1. Из каких основных компонентов состоит природный газ?
2. От каких примесей прежде всего очищают природный газ?
3. Какие виды хранения используются для природного газа.

Тема 2. Примерные вопросы устного опроса.

1. В чем состоит особенность ожижения природного газа?
2. Какими безопасными способами происходит заполнение криогенных ёмкостей СПГ?
3. Какие меры безопасности используют при хранении природного газа?

Тема 3. Примерные вопросы устного опроса.

1. Какие меры безопасности используют при транспортировке природного газа?
2. Какие меры безопасности применяют при возможном охлаждении элементов конструкции транспортного средства?

3. Какие предохранительные устройства используют при транспортировке природного газа?

Тема 4. Примерные вопросы устного опроса.

1. Изобразите процессы сжатия и расширения газа в турбомашине в T-s – диаграмме и покажите физический смысл площадей на этой диаграмме.
2. Изобразите процесс расширения в сопловом аппарате в s-h – диаграмме (дозвуковой и сверхзвуковой режим).
3. Перечислите основные виды КПД, применяемые при расчете турбомашин.

Тема 5. Примерные вопросы устного опроса.

1. Перечислите основные виды КПД, применяемые при расчете турбомашин
2. Сформулировать закон сохранения расхода газа и объяснить роль коэффициента расхода газа, применяемого при расчете параметров проточной части.
3. Изобразите процессы сжатия и расширения газа в турбомашине в T-s – диаграмме и покажите физический смысл площадей на этой диаграмме. Произведите расчет основных видов потерь в турбомашине, используя данную диаграмму

Тема 6. Примерные вопросы устного опроса.

1. Оцените значения основных критериев надежности низкотемпературной турбомашины по известным результатам испытаний.
2. Оцените значения основных параметров турбомашины низкотемпературной техники по известным давлениям, температуре и расходу.
3. Чем отличаются турбомашины, использующие водород и гелий в качестве рабочих тел, от воздушных турбомашин?

Тема 7. Примерные вопросы устного опроса.

1. Какие изотопы водорода Вы знаете?
2. В чем заключается уникальность водорода?
3. Что такое «зеленый» водород?

Тема 8. Примерные вопросы устного опроса.

1. Что такое гибриды?
2. В каком виде целесообразно перевозить большое количество водорода?
3. Какие основные химические реакции используют для получения водорода из углеводородного сырья?
4. Способы хранения водорода: компримированное, связанное и в жидком виде.

Тема 9. Примерные вопросы устного опроса.

1. В чем заключается принцип работы топливного элемента?
2. Какие продукты получаются при сгорании водорода?

3. В чем особенность перевода двигателей внутреннего сгорания с обычного углеводородного топлива на водород?
4. Энергетические установки, использующие водород, как топливо.

Тема 10. Примерные вопросы устного опроса.

1. Назовите редкие газы.
2. Какими свойствами обладают редкие газы?
3. Могут ли редкие газы вступать в химические реакции?

Тема 11. Примерные вопросы устного опроса.

1. В чем заключается основа процесса ректификации?
2. Назовите основные элементы ректификационной установки.
3. Укажите типы колонн для низкотемпературной ректификации.
4. Разделение газовых смесей методом низкотемпературной ректификации. Особенности работы ректификационной колонны.

Тема 12. Примерные вопросы устного опроса.

1. Чем отличаются процессы адсорбции и абсорбции?
2. Назовите традиционный сорбент, который использовался столетиями.
3. Что такое кривая адсорбции?
4. Процессы поглощения газов сорбентами. Сорбционная очистка газов от примесей.

5. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДПП

5.1. Организационные условия реализации ДПП

Наименование аудитории	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Аудитория для проведения лекций/семинаров	Лекции	ПК с доступом в Интернет и возможностью просмотра файлов в формате *.ppt, *.pptx, *.pdf, проектор/телевизор/монитор.
Аудитория для проведения лекций/семинаров	Практические занятия	ПК с доступом в Интернет и возможностью просмотра файлов в формате *.ppt, *.pptx, *.pdf, проектор/телевизор/монитор.
Коворкинги, учебные залы и т.д.	Самостоятельная работа	ПК с доступом в Интернет и возможностью просмотра файлов в формате *.html, *.doc, *.docx, *.pdf, *.djvu.
Аудитория для проведения лекций/семинаров	Итоговая аттестация	ПК с доступом в Интернет и возможностью просмотра файлов в формате *.html, *.doc, *.docx, *.pdf, *.djvu, лист бумаги формата А4, ручка.

5.2. Педагогические условия реализации ДПП

Реализация программы обеспечивается преподавательским составом, удовлетворяющим следующим условиям:

- наличие высшего профессионального образования, соответствующее профилю программы, из числа штатных преподавателей, или привлеченных на условиях почасовой оплаты труда;
- значительный опыт практической деятельности в соответствующей сфере из числа штатных преподавателей или привлеченных на условиях почасовой оплаты труда

5.3. Учебно-методическое обеспечение ДПП

Основная литература:

1. Антонов, А.Н. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник / А.Н. Антонов, А.М. Архаров, И.А. Архаров. – 2-е изд., испр. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2015. – 533 с. – ISBN 978-5-7038-3931-7.
2. Епифанова В.И. Низкотемпературные радиальные турбодетандеры. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Машиностроение, 1974. – 445 с.
3. Теплотехника: учебник для вузов / Архаров А.М., Архаров И.А., Афанасьев В.Н. [и др.]; общ. ред. Архаров А.М., Афанасьев В.Н. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 711 с.: ил. – Библиогр.: с. 706. – ISBN 5-7038-2439-7.
4. Соренсен Б. Преобразование, передача и аккумулирование энергии: [учебно-справочное руководство] / Соренсен Б.; ред. пер. с англ. Калашников А.Д. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 295 с.: ил. – ISBN 978-5-91559-056-3.
5. Бармин И.В., Кунис И.Д. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра /Под ред. А.М. Архарова. - М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с. Под ред. А.М. Архарова. – М.; Изд-ство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с.

Дополнительная литература:

1. Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и др. Криогенные системы: учебник для студентов вузов. В 2-х т.2. Основы теории и расчёта / под общ. ред. А.М. Архарова.
2. Справочник по физико-техническим основам криогеники / под ред. М.П. Малкова. М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ. 1985. 432 с.
3. Каганер М.Г. Тепловая изоляция в технике низких температур. М.: Машиностроение. 1966. 275 с.

5.4. Методические рекомендации

ДПП построена по тематическому принципу, каждый раздел представляет собой логически завершенный материал.

Преподавание программы основано на личностно-ориентированной технологии образования, сочетающей два равноправных аспекта этого процесса: обучение и учение. Личностно-ориентированный подход развивается при участии слушателей в активной работе на практических занятиях. Личностно-ориентированный подход направлен, в первую очередь, на развитие индивидуальных способностей обучающихся, создание условий для развития творческой активности слушателя и разработке инновационных идей, а также на развитие самостоятельности мышления при решении учебных задач разными способами, нахождение рационального варианта решения, сравнения и оценки нескольких вариантов их решения и т.п. Это способствует формированию приемов умственной деятельности по восприятию новой информации, ее запоминанию и осознанию, созданию образов для сложных понятий и процессов, приобретению навыков поиска решений в условиях неопределенности.

Практические занятия проводятся для приобретения навыков решения практических задач в предметной области модуля. Задания, выполняемые на практических занятиях, выполняются с использованием активных и интерактивных методов обучения.

Самостоятельная работа слушателей предназначена для проработки дополнительной литературы. Результаты практических заданий слушателей учитываются на итоговой аттестации.

При изучении курса предусмотрены следующие методы организации и осуществления учебно-познавательной деятельности:

- объяснительно-иллюстративный метод;
- репродуктивный метод;
- частично-поисковый метод.

6. ФОРМЫ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ДПП

Итоговая аттестация проводится в форме зачета для проверки сформированности компетенций, полученных в рамках ДПП. Результатом зачета служат правильные ответы на вопросы билета.

По результатам итоговой аттестации обучающемуся выставляется оценка «ЗАЧТЕНО/НЕ ЗАЧТЕНО»:

Оценка «ЗАЧТЕНО» выставляется обучающемуся, который:

- в полной мере ответил на 3 из 5 вопросов билета;
- продемонстрировал необходимые систематизированные знания и достаточную степень владения принципами предметной области программы, понимание их особенностей и взаимосвязь между ними в течение всего срока обучения по ДПП.

Оценка «НЕ ЗАЧТЕНО» ставятся обучающемуся, который:

- ответил менее, чем на 3 из 5 вопросов билета;
- имеет крайне слабые теоретические и практические знания, обнаруживает неспособность к построению самостоятельных заключений.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

7.1. Паспорт комплекта оценочных средств

Предметы оценивания	Объекты оценивания	Показатели оценки
ОПК-1. Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Ответы на вопросы	Количество правильных ответов

7.2. Комплект оценочных средств

7.2.1. Темы для подготовки к зачету:

1. Физические свойства природного газа.
2. Емкости для хранения и транспортировки СПГ.
3. Запорно-регулировочная и предохранительная аппаратура ёмкостей СПГ.
4. Общие принципы работы турбомашин.
5. Процессы в турбокомпрессорах.
6. Процессы в турбодетандерах.
7. Водород и его уникальные свойства.
8. Хранение водорода в разных фазовых состояниях.
9. Применение водорода, как энергоносителя. Типы топливных элементов.
10. Редкие газы и их происхождение.
11. Получение редких газов.
12. Очистка редких газов от примесей.

7.2.2. Примерные вопросы для проведения зачёта:

1. Укажите температуру кипения метана при атмосферном давлении.
2. От каких примесей необходимо обязательно избавляться при первичной переработке природного газа?
3. Какие ценные продукты извлекают из природного газа при его окончательной переработке?
4. Какие проблемы могут возникнуть при хранении природного газа в баллонах?
5. В чем заключается основная опасность при хранении СПГ?
6. Какие предохранительные устройства обязательно должны входить в состав запорно-регулирующей арматуры ёмкостей для хранения СПГ?

7. Для каких целей происходит подогрев некоторых частей конструкции судов, перевозящих СПГ?

8. Почему при сливе СПГ из транспортных ёмкостей оставляют в них некоторое количество СПГ?

9. Зачем на судах, перевозящих СПГ, нужны азотные ожижиели?

10. Изобразите на h-s – диаграмме рабочий процесс в турбокомпрессоре.

11. Напишите уравнение энергии в тепловой и механической формах для турбокомпрессора в адиабатных и неадиабатных условиях.

12. Изобразите на h-s – диаграмме рабочий процесс в турбодетандере.

13. Перечислить основные потери в ступени турбомашин.

14. Как определяется относительная ширина колеса на внешнем диаметре турбомашины?

15. Что такое гидравлический КПД турбомашины?

16. Укажите основные части турбокомпрессора и их назначение.

17. Какую роль играет направляющий аппарат в турбодетандере?

18. Какие типы рабочих колес используются в турбодетандере?

19. Назовите изотопы водорода?

20. Укажите температуру кипения водорода при атмосферном давлении.

21. Почему водород нельзя ожижить в цикле простого дросселирования (цикле Линде)?

22. Из какого сырья получают больше всего водорода?

23. Почему электролиз не используют в крупнотоннажном производстве водорода?

24. Что такое «зеленый» водород?

25. Сравните теплотворную способность водорода и природного газа.

26. В чем заключается принцип работы топливного элемента?

27. Можно ли использовать классический двигатель внутреннего сгорания при переходе с жидкого углеводородного топлива на водород?

28. Назовите используемые в промышленности редкие газы?

29. Для каких целей применяется неон?

30. Назовите области применения ксенона.

31. На каком принципе основывается метод низкотемпературной ректификации?

32. Опишите последовательность получения чистого неона.

33. Опишите последовательность получения чистого ксенона.

34. В чем заключается принцип работы адсорбера?

35. Каким образом нужно очищать криогенные газы от излишнего количества водяных паров?

36. В каких единицах измеряются примеси в газах высокой чистоты?