

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
«01» февраля 2026 г.



Дополнительное профессиональное образование

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА
ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИЙ
«Разделение воздуха методом низкотемпературной ректификации»

Регистрац. № 05.22.23.02.89

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.....	27
5.1. Организационные условия реализации ДПП.....	27
5.2. Педагогические условия реализации ДПП.....	27
5.3. Учебно-методическое обеспечение ДПП.....	27
5.4. Методические рекомендации.....	28
6. ФОРМЫ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ДПП.....	30
7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ.....	31
7.1. Паспорт комплекта оценочных средств.....	31
7.2. Комплект оценочных средств.....	31

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 разработки проектной и рабочей документации системы холодоснабжения.

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 «Разделение воздуха методом низкотемпературной ректификации».

1.3. Дополнительные характеристики ДПП

Характеристики новой квалификации определены в приказе Минтруда России от 22.04.2021 №296н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по проектированию систем холодоснабжения».

Вид профессиональной деятельности:

- Проектирование системы холодоснабжения (Код 40.176).

Трудовые функции:

- Разработка технологических и конструктивных решений системы холодоснабжения (С/01.7).

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 по направлению подготовки 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения (уровень бакалавриата)».

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
Разработка технологических и конструктивных решений системы холодоснабжения (С/01.7)			
ОПК-1. Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Утверждение и оформление основных технологических и конструктивных решений системы холодоснабжения	Определять возможность применения типовых проектных решений	Варианты технических решений, обеспечивающих надежность работы систем в экстремальных условиях

2. УЧЕБНЫЙ ПЛАН ДПП

2.1. Категория слушателей ДПП

Имеющаяся квалификация (требования к слушателям) – к освоению ДПП допускаются лица, имеющие среднее профессиональное и/или высшее образование.

2.2. Общая трудоёмкость программы, аудиторная и самостоятельная работа

Общая трудоёмкость программы 93 академических часа, из них 72 академических часа аудиторной работы, 19 академических часов 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 «Разделение воздуха методом низкотемпературной ректификации» реализуется одним модулем.

№ п/п	Наименование темы, модуля	Форма контроля	Всего, час	В том числе			
				Лекции	Практ. занятия	Самост. работа	Итоговая аттестация
Модуль 1. Термодинамические основы разделения смесей							
1.	Бинарные смеси, процесс ректификация, жидкие продукты разделения и их свойства	Устный опрос	7	4	2	1	-
2.	Очистка газов и жидкостей от примесей. Применение процессов сорбции в криогенной технике. Работа абсорбционных устройств.	Устный опрос	5	3	1	1	-
3.	Осушка и термодинамические процессы влажного воздуха	Устный опрос	4	2	1	1	-
Модуль 2. Машины, аппараты и установки разделения смесей							
4.	Тепломассообмен и гидрогазодинамика жидких и газообразных продуктов разделения воздуха	Устный опрос	5	3	1	1	-
5.	Конструкции теплообменных аппаратов. Конденсаторы- испарители воздухоразделительных установок	Устный опрос	5	2	2	1	-

6.	Устройство, принцип работы и применение турбодетандеров	Устный опрос	5	2	1	2	-
7.	Насосы, крио-насосы. Типы насосов, напорные и мощностные характеристики, способы регулирования расхода, кавитация, допустимая высота всасывания; особенности конструкций и работы криогенных насосов	Устный опрос	9	5	2	2	-
8.	Термодинамические процессы ожижения газов в воздухоразделительных установках низкого давления и установок низкого давления с внутренним сжатием	Устный опрос	9	5	2	2	-
9.	Эксплуатация, основными параметрами процесса ректификации и технологические схемы воздухоразделительных установок КтК-35, АКАр-40/35-2, КдАДар-35/30, КААр-32, их технические характеристики	Устный опрос	9	5	2	2	-
10.	Производство смесей редких газов (криптон-ксеноновой и неон-гелиевой). Устройство и принцип работы установок ХРОМ, УСК- 0,45, Дефлегматор Д-07 и Д-08	Устный опрос	10	5	3	2	-
Модуль 3. Безопасность эксплуатации при эксплуатации воздухоразделительных установок							
11.	Опасные факторы при производстве продуктов разделения воздуха. Взрывобезопасность воздухоразделительных установок и технических устройств, работающих в среде кислорода. Обезжиривание оборудования, методы обезжиривания, контроль качества	Устный опрос	7	4	2	1	-

12.	Накопление взрывоопасных примесей и способы обеспечивающие безопасную работу воздуходелительных установок	Устный опрос	6	3	2	1	-
13.	Правила безопасной эксплуатации ВРУ и технических устройств, работающих в среде продуктов разделения воздуха	Устный опрос	5	3	1	1	-
14.	Материалы, применяемые в устройствах при ППРВ, их свойства. Стали, цветные металлы и сплавы, абсорбенты и теплоизоляционные материалы, их характеристики при низких температурах	Устный опрос	5	3	1	1	-
15.	Итоговая аттестация	Зачет	2	-	-	-	2
	ИТОГО	-	93	49	23	19	2

3. КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК

№ п/п	Наименование темы, модуля	1 день	2 день	3 день	4 день	5 день	6 день
Модуль 1. Термодинамические основы разделения смесей							
1.	Бинарные смеси, процесс ректификация, жидкие продукты разделения и их свойства						
2.	Очистка газов и жидкостей от примесей. Применение процессов сорбции в криогенной технике. Работа абсорбционных устройств.						
3.	Осушка и термодинамические процессы влажного воздуха						
Модуль 2. Машины, аппараты и установки разделения смесей							
4.	Тепломассообмен и гидрогазодинамика жидких и газообразных продуктов разделения воздуха						
5.	Конструкции теплообменных аппаратов. Конденсаторы-испарители воздухоразделительных установок						
6.	Устройство, принцип работы и применение турбодетандеров						
7.	Насосы, крио-насосы. Типы насосов, напорные и мощностные характеристики, способы регулирования расхода, кавитация, допустимая высота всасывания; особенности конструкций и работы криогенных насосов						
8.	Термодинамические процессы ожижения газов в воздухоразделительных установках низкого давления и установок низкого давления с внутренним сжатием						
9.	Эксплуатация, основными параметрами процесса ректификации и технологические схемы воздухоразделительных установок КтК-35, АКАр-40/35-2, КдАДар-35/30, КААр-32, их технические характеристики						
10.	Производство смесей редких газов (криптон-ксеноновой и неон-гелиевой). Устройство и принцип работы установок ХРОМ, УСК- 0,45, Дефлегматор Д-07 и Д-08						

Модуль 3. Безопасность эксплуатации при эксплуатации воздуходелительных установок						
11.	Опасные факторы при производстве продуктов разделения воздуха. Взрывобезопасность воздуходелительных установок и технических устройств, работающих в среде кислорода. Обезжиривание оборудования, методы обезжиривания, контроль качества					
12.	Накопление взрывоопасных примесей и способы обеспечивающие безопасную работу воздуходелительных установок					
13.	Правила безопасной эксплуатации ВРУ и технических устройств, работающих в среде продуктов разделения воздуха					
14.	Материалы, применяемые в устройствах при ППРВ, их свойства. Стали, цветные металлы и сплавы, абсорбенты и теплоизоляционные материалы, их характеристики при низких температурах					
15.	Итоговая аттестация					

№ п/п	Наименование темы, модуля	1 день	2 день	3 день	4 день	5 день	6 день
Модуль 1. Термодинамические основы разделения смесей							
1.	Бинарные смеси, процесс ректификация, жидкие продукты разделения и их свойства						
2.	Очистка газов и жидкостей от примесей. Применение процессов сорбции в криогенной технике. Работа абсорбционных устройств.						
3.	Осушка и термодинамические процессы влажного воздуха						
Модуль 2. Машины, аппараты и установки разделения смесей							
4.	Тепломассообмен и гидрогазодинамика жидких и газообразных продуктов разделения воздуха						
5.	Конструкции теплообменных аппаратов. Конденсаторы-испарители воздуходелительных установок						
6.	Устройство, принцип работы и применение турбодетандеров						

7.	Насосы, крио-насосы. Типы насосов, напорные и мощностные характеристики, способы регулирования расхода, кавитация, допустимая высота всасывания; особенности конструкций и работы криогенных насосов						
8.	Термодинамические процессы ожижения газов в воздухоразделительных установках низкого давления и установок низкого давления с внутренним сжатием						
9.	Эксплуатация, основными параметрами процесса ректификации и технологические схемы воздухоразделительных установок КтК-35, АКАр-40/35-2, КдАдАр-35/30, КААр-32, их технические характеристики						
10.	Производство смесей редких газов (криптон-ксеноновой и неон-гелиевой). Устройство и принцип работы установок ХРОМ, УСК- 0,45, Дефлегматор Д-07 и Д-08						
Модуль 3. Безопасность эксплуатации при эксплуатации воздухоразделительных установок							
11.	Опасные факторы при производстве продуктов разделения воздуха. Взрывобезопасность воздухоразделительных установок и технических устройств, работающих в среде кислорода. Обезжиривание оборудования, методы обезжиривания, контроль качества						
12.	Накопление взрывоопасных примесей и способы обеспечивающие безопасную работу воздухоразделительных установок						
13.	Правила безопасной эксплуатации ВРУ и технических устройств, работающих в среде продуктов разделения воздуха						
14.	Материалы, применяемые в устройствах при ППРВ, их свойства. Стали, цветные металлы и сплавы, абсорбенты и теплоизоляционные материалы, их характеристики при низких температурах						

15.	Итоговая аттестация							Зачет
-----	---------------------	--	--	--	--	--	--	-------

Минимальный срок освоения ДПП – 12 дней.

4. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДПП

4.1. Рабочая программа модуля «Разделение воздуха методом низкотемпературной ректификации»

4.1.1. Цель изучения модуля: сформировать у обучающихся знания, навыки и умения в области разработки проектной и рабочей документации системы холодоснабжения.

4.1.2. Задача изучения модуля:

- Формирование базы знаний в области современного автомобилестроения и двигателестроения.
- Изучение подходов при проектировании и создании цифрового двойника.
- Знакомство с технологическими процессами производства опытного образца и серийного продукта.
- Изучение основ проектной деятельности, руководства командой.

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: Варианты технических решений, обеспечивающих надежность работы систем в экстремальных условиях. Уметь: Определять возможность применения типовых проектных решений. Владеть: Утверждение и оформление основных технологических и конструктивных решений системы холодоснабжения.	Формы обучения: Фронтальная. Методы обучения: Лекция; Практические занятия; Самостоятельная работа.

4.1.4 Содержание курса

Тема 1. Бинарные смеси, процесс ректификация, жидкие продукты разделения и их свойства (7 часа)

Лекции (4 часа). Бинарные смеси газов. Высококипящий и низкокипящий компонент смеси. Процесс низкотемпературной ректификации бинарной смеси. Жидкие криогенные продукты разделения воздуха и их свойства.

Практические занятия (2 часа). Описать прохождение процессов конденсации и испарения простых веществ и бинарных смесей. Изобразить процесс ректификационного разделения бинарной смеси азот-кислород на трех диаграммах (Т-х,у; х-у; I-х,у) при разных давлениях. Обозначить возможные зоны рабочих режимов.

Самостоятельная работа (1 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Бинарные смеси, процесс ректификация, жидкие продукты разделения и их свойства	Основы ректификации	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и др. Криогенные системы: учебник для студентов вузов. В 2-х т. Основы теории и расчёта /под общ. ред. А.М. Архарова – М.: Машиностроение. 1996. – 576 с.	Устный опрос

Тема 2. Очистка газов и жидкостей от примесей. Применение процессов сорбции в криогенной технике. Работа абсорбционных устройств (5 часов)

Лекции (3 часа). Очистка газов и жидкостей от примесей. Применение процессов сорбции в криогенной технике. Работа абсорбционных устройств.

Практические занятия (1 час). Расчёт массогабаритных размеров промышленного адсорбера.

Самостоятельная работа (1 час). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Очистка газов и жидкостей от примесей. Применение процессов сорбции в криогенной технике. Работа абсорбционных устройств	Теоретические положения	Проработка дополнительной литературы	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.	Устный опрос

Тема 3. Осушка и термодинамические процессы влажного воздуха (4 часа)

Лекции (2 часа). Процессы при нагреве, охлаждении и увлажнении влажного воздуха. Осушка воздуха с помощью охлаждения ниже точки росы.

Практические занятия (1 час). Определение конечного влагосодержания в воздухе и количество сконденсированной влаги при охлаждении воздуха.

Самостоятельная работа (1 час). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Осушка и термодинамические процессы влажного воздуха	Адсорбционные осушительные устройства	Проработка дополнительной литературы	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.	Устный опрос

Тема 4. Тепломассообмен и гидрогазодинамика жидких и газообразных продуктов разделения воздуха (5 часов)

Лекции (3 часа). Тепломассообмен и гидрогазодинамика жидких и газообразных продуктов разделения воздуха. Основные безразмерные числа и зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи и гидравлических потерь. Тепломассообмен и гидрогазодинамика жидких и газообразных продуктов разделения воздуха.

Практические занятия (1 час). Расчёт гидравлических потерь при движении потока.

Самостоятельная работа (1 часа). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Тепломассообмен и гидрогазодинамика жидких и газообразных продуктов разделения воздуха	Термодинамика, теплообмен	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и др. Криогенные системы: учебник для студентов вузов. В 2-х т. Основы теории и расчёта /под общ. ред. А.М. Архарова – М.: Машиностроение. 1996. – 576 с.	Устный опрос

Тема 5. Конструкции теплообменных аппаратов. Конденсаторы-испарители воздухоразделительных установок (5 часов)

Лекции (2 часа). Конструкции теплообменных аппаратов. Конденсаторы-испарители воздухоразделительных установок. Основы расчёта и проектирования.

Практические занятия (2 часа). Разработка принципиальной схемы воздухоразделительной установки.

Самостоятельная работа (1 час). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Конструкции теплообменных аппаратов. Конденсаторы-испарители воздуходелительных установок	Примеры расчетов адсорбционных аппаратов	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и др. Криогенные системы: учебник для студентов вузов. В 2-х т. Основы теории и расчёта /под общ. ред. А.М. Архарова – М.: Машиностроение. 1996. – 576 с.	Устный опрос

Тема 6. Устройство, принцип работы и применение турбодетандеров (5 часов)

Лекции (2 часа). Устройство, принцип работы и применение турбодетандеров. Типы рабочих колес турбодетандера. Процесс расширения газа в направляющем аппарате и рабочем колесе. Типы отвода работы от турбодетандера.

Практические занятия (1 час). Разработка соплового аппарата турбодетандера.

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
Устройство, принцип работы и применение турбодетандеров	Термогазодинамический расчет криогенного радиально-осевого турбодетандера	Проработка дополнительной литературы	Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник для вузов / Архаров А.М., Архаров И.А., Антонов А.Н. [и др.]; общ. ред. Архаров А.М., Буткевич И.К. – М.: Изд-во МГТУ	Устный опрос

			им. Н. Э. Баумана, 2011. – 582 с.	
--	--	--	--------------------------------------	--

Тема 7. Насосы, крио-насосы. Типы насосов, напорные и мощностные характеристики, способы регулирования расхода, кавитация, допустимая высота всасывания; особенности конструкций и работы криогенных насосов (9 часов)

Лекции (5 часов). Насосы, крио-насосы. Типы насосов, напорные и мощностные характеристики. Способы регулирования расхода. Явление кавитации. Допустимая высота всасывания жидкости в насос. Особенности конструкций и работы криогенных насосов.

Практические занятия (2 часа). Определить реальный располагаемый кавитационный запас кислородного насоса.

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
Насосы, крио-насосы. Типы насосов, напорные и мощностные характеристики, способы регулирования расхода, кавитация, допустимая высота всасывания; особенности конструкций и работы криогенных насосов	Кавитационные испытания	Проработка дополнительной литературы	Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник для вузов / Архаров А.М., Архаров И.А., Антонов А.Н. [и др.]; общ. ред. Архаров А.М., Буткевич И.К. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 582 с.	Устный опрос

Тема 8. Термодинамические процессы ожижения газов в воздухоразделительных установках низкого давления и установок низкого давления с внутренним сжатием (9 часов)

Лекции (5 часов). Термодинамические процессы ожижения газов в воздухоразделительных установках низкого давления и установок низкого давления с внутренним сжатием. Процессы дросселирования и детандирования. Инверсия газов и

особенности изотермического сжатия. Дроссельные циклы: простого дросселирования, с предварительным охлаждением. Циклы с детандирами: циклы Клода и Гейланда.

Практические занятия (2 часа). Расчёт дроссельных ожижительных циклов.

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
Термодинамические процессы ожижения газов в воздухоразделительных установках низкого давления и установок низкого давления с внутренним сжатием	Криогенная ректификация	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и др. Криогенные системы: учебник для студентов вузов. В 2-х т. Основы теории и расчёта /под общ. ред. А.М. Архарова – М.: Машиностроение. 1996. – 576 с.	Устный опрос

Тема 9. Эксплуатация, основными параметрами процесса ректификации и технологические схемы воздухоразделительных установок КтК-35, АКАр-40/35-2, КдАДар-35/30, КААр-32, их технические характеристики (9 часов)

Лекции (5 часов). Эксплуатация, основными параметрами процесса ректификации и технологические схемы воздухоразделительных установок КААр-32, КтК-35, МАКАр-40/35-2, КдАДар-35/30 их технические характеристики. Особенности генерации холода в каждой из этих установок. Получение жидких и газообразных продуктов из установок. Основные элементы ректификационных установок.

Практические занятия (2 часа). В координатах температура-концентрация (на изобаре равновесия) изобразить ключевые точки, соответствующие входам и выходам потоков аппаратов криогенной ректификации со схему, ВРУ. Изобразить с пояснением блок-схему крупной ВРУ для получения кислорода производительностью более 30 тыс. м^3 . Описать принцип действия и необходимость блоков в составе ВРУ.

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
Эксплуатация, основными параметрами процесса ректификации и технологические схемы воздухоподделительных установок КтК-35, АКАр-40/35-2, КдАдАр-35/30, КААр-32, их технические характеристики	Проектирование ВРУ	Проработка дополнительной литературы	Справочник по физико-техническим основам криогеники /под ред. М.П. Малкова. – М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ. 1985. – 432 с.	Устный опрос

Тема 10. Производство смесей редких газов (криптон-ксеноновой и неон-гелиевой). Устройство и принцип работы установок ХРОМ, УСК- 0,45, Дефлегматор Д-07 и Д-08 (10 часов)

Лекции (5 часов). Производство смесей редких газов (криптон-ксеноновой и неон-гелиевой). Устройство и принцип работы установок ХРОМ, УСК-0,45, Дефлегматор Д-07 и Д-08.

Практические занятия (3 часа). Описать основные принципы получения работы со смесями редких газов и получения компонентов разделения высокой чистоты. Нарисовать блок-схему установки получения чистого ксенона от ВРУ и выделить основные узлы, влияющие на качество. Нарисовать блок-схему установки получения чистого неона от ВРУ и выделить основные узлы, влияющие на качество.

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
Эксплуатация, основными параметрами	Получение неона, криптона и ксенона	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и	Устный опрос

процесса ректификации и технологические схемы воздухоразделительных установок КтК-35, АКАр- 40/35-2, КДАДАр- 35/30, КААр-32, их технические характеристики			др. Криогенные системы: учебник для студентов вузов. В 2-х т. Основы теории и расчёта /под общ. ред. А.М. Архарова – М.: Машиностроение. 1996. – 576 с.	
--	--	--	--	--

Тема 11. Опасные факторы при производстве продуктов разделения воздуха. Взрывобезопасность воздухоразделительных установок и технических устройств, работающих в среде кислорода. Обезжиривание оборудования, методы обезжиривания, контроль качества (7 часов)

Лекции (4 часа). Опасные факторы при производстве продуктов разделения воздуха. Особые свойства кислорода. Взрывобезопасность воздухоразделительных установок и технических устройств, работающих в среде кислорода. Обезжиривание оборудования, методы обезжиривания, контроль качества.

Практические занятия (2 часа). Выполнить расчет жидкостного адсорбера с использованием упрощенной методики.

Самостоятельная работа (1 час). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Опасные факторы при производстве продуктов разделения воздуха. Взрывобезопасность воздухоразделительных установок и технических устройств, работающих в среде кислорода. Обезжиривание	Экология, защита окружающей среды	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и др. Криогенные системы: учебник для студентов вузов. В 2-х т. Основы теории и расчёта /под общ. ред. А.М. Архарова – М.: Машиностроение. 1996. – 576 с.	Устный опрос

оборудования, методы обезжиривания, контроль качества				
--	--	--	--	--

Тема 12. Накопление взрывоопасных примесей и способы обеспечивающие безопасную работу воздуходелительных установок (6 часов)

Лекции (3 часа). Накопление взрывоопасных примесей – углеводородных соединений. Основные места в элементах воздуходелительных установок. Измерения концентраций углеводородных соединений. Способы обеспечивающие безопасную работу воздуходелительных установок.

Практические занятия (2 часа). Рассчитать истинный уровень жидкого кислорода в трубчатом и пластинчато-ребристом конденсаторах и испарителях, который обеспечивает безопасную работу аппарата.

Самостоятельная работа (1 час). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Накопление взрывоопасных примесей и способы обеспечивающие безопасную работу воздуходелительных установок	Взрывоопасные примеси	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и др. Криогенные системы: учебник для студентов вузов. В 2-х т. Основы теории и расчёта /под общ. ред. А.М. Архарова – М.: Машиностроение. 1996. – 576 с.	Устный опрос

Тема 13. Правила безопасной эксплуатации ВРУ и технических устройств, работающих в среде продуктов разделения воздуха (6 часов)

Лекции (3 часа). Особенности взаимодействия кислорода с материалами. Пожаро и взрывоопасность кислорода в смеси с углеводородными соединениями и маслами. Правила безопасной эксплуатации ВРУ и технических устройств, работающих в среде продуктов разделения воздуха.

Практические занятия (2 часа). Разработка рекомендаций по работе с ВРУ с учетом охраны труда и техники безопасности.

Самостоятельная работа (1 час). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Правила безопасной эксплуатации ВРУ и технических устройств, работающих в среде продуктов разделения воздуха	Охрана труда, безопасность	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и др. Криогенные системы: учебник для студентов вузов. В 2-х т. Основы теории и расчёта /под общ. ред. А.М. Архарова – М.: Машиностроение. 1996. – 576 с.	Устный опрос

Тема 14. Материалы, применяемые в устройствах при ППРВ, их свойства. Стали, цветные металлы и сплавы, абсорбенты и теплоизоляционные материалы, их характеристики при низких температурах (5 часов)

Лекции (3 часа). Материалы, применяемые в устройствах при ППРВ, их свойства. Стали, цветные металлы и сплавы, абсорбенты и теплоизоляционные материалы, их характеристики при низких температурах.

Практические занятия (1 час). Разработка рекомендаций по работе с ВРУ с учетом охраны труда и техники безопасности.

Самостоятельная работа (1 час). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Правила безопасной эксплуатации ВРУ и технических	Материалы	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и др. Криогенные	Устный опрос

устройств, работающих в среде продуктов разделения воздуха			системы: учебник для студентов вузов. В 2-х т. Основы теории и расчёта /под общ. ред. А.М. Архарова – М.: Машиностроение. 1996. – 576 с.
--	--	--	--

4.1.5. Оценочное средство для текущего контроля (примерные вопросы для устного опроса):

Тема 1.

1. Основные термодинамические диаграммы для бинарной смеси.
2. Законы Дальтона Рауля для бинарных смесей.
3. Описание процесса ректификации.

Тема 2.

1. Основные типы очистки газов и жидкостей от примесей.
2. Что такое ppm и ppb ?
3. Чем отличаются процессы адсорбции от процессов абсорбции?

Тема 3.

1. Что такое относительная влажность воздуха?
2. Назовите основные процессы обработки воздуха.
3. Что такое температура точки росы влажного воздуха?

Тема 4.

1. Какое безразмерное число определяет режим течения жидкости и газа и от каких физических величин оно зависит?
2. Какой вид имеет зависимость коэффициента теплоотдачи при ламинарном течении жидкости или газа?
3. Напишите вид зависимости потерь давления при течении жидкости или газа в трубопроводах.

Тема 5.

1. Какие типы теплообменных аппаратов применяются в криогенной технике?
2. В чем достоинства и недостатки трубных теплообменных аппаратов?
3. В чем заключаются достоинства и недостатки пластинчато-ребристых теплообменников?

Тема 6.

1. Какие процессы происходят в рабочем колесе турбодетандера?
2. Какие функции выполняет направляющий аппарат?
3. Зачем нужен диффузор?

Тема 7.

1. В отличие криогенных насосов от водяных?
2. Что такое напорная характеристика насосов?
3. Основные части криогенного насоса и их назначение.

Тема 8.

1. Чем процесс дросселирования отличается от процесса детандирования?
2. Что такое кривая инверсии газов и ее основные точки?
3. Назначение детандера в криогенной установке.

Тема 9.

1. Назовите основной принцип работы низкотемпературной ректификационной установки.
2. Из каких основных частей состоит воздухоразделительная установка КААр-32?
3. В чем особенность установки КдАдАр-35/30?

Тема 10.

1. Откуда получают криптон-ксеноновая и неон-гелиевая смеси?
2. Каким образом получают неон высокой чистоты из неон-гелиевая смеси?
3. Опишите последовательность получения ксенона из криптон-ксеноновой смеси?

Тема 11.

1. Опишите свойства кислорода и его взаимодействие с другими веществами и материалами конструкции криогенных установок.
2. Какие примеси, находящиеся в воздухе, наиболее опасны при взаимодействии с кислородом и укажите их предельные концентрации?
3. Укажите основные меры безопасности при работе с кислородом и эксплуатации воздухоразделительных установок.

Тема 12.

1. Опишите процесс накопление взрывоопасных примесей углеводородных соединений в воздухоразделительной установке.
2. Укажите основные места в элементах воздухоразделительных установок, в которых накапливаются примеси углеводородов.
3. Назовите способы, обеспечивающие безопасную работу воздухоразделительных установок.

Тема 13.

1. Назовите особенности взаимодействия кислорода с материалами, применяемыми в воздуходелительных установках.
2. Укажите предельные концентрации пожаро- и взрывоопасных смесей кислорода в смеси с углеводородными соединениями и маслами.
3. Перечислите основные правила безопасной эксплуатации ВРУ и технических устройств, работающих в среде продуктов разделения воздуха.

Тема 14.

1. Назовите основные материалы, применяемые в устройствах при ППРВ, их свойства при низких температурах.
2. Какие стали, цветные металлы и сплавы применяются в воздуходелительных установках?
3. Какие абсорбенты и теплоизоляционные материалы применяются в элементах воздуходелительных установок, укажите их характеристики при низких температурах?

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.
Лаборатории/ производственные помещения	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. Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и др. Криогенные системы: учебник для студентов вузов. В 2-х т. Основы теории и расчёта / под общ. ред. А.М. Архарова – М.: Машиностроение. 1996. – 576 с.
2. Справочник по физико-техническим основам криогеники / под ред. М.П. Малкова. – М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ. 1985. – 432 с.
3. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты: учебник для вузов / Архаров А.М., Архаров И.А., Антонов А.Н. [и др.]; общ. ред. Архаров А.М., Буткевич И.К. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 582 с.
4. Захаров М.К. Энергосберегающая ректификация: учебное пособие / Захаров М. К. - СПб.: Лань, 2018. - 250 с.
5. Швыдкий В.С., Ладыгичев М.Г. Очистка газов: справочник / Швыдкий В. С., Ладыгичев М. Г. - М.: Теплоэнергетик, 2002. - 640 с.
6. Методы и средства осушки воздуха в ракетных двигательных установках / Бирюк В.В., Бронштейн В.М., Лукачев С.В. [и др.]; РАН. Самарский науч. центр. - Самара: Изд-во Самарского науч. центра РАН, 2005. - 149 с.

7. Теплотехника/ Александров Анатолий Александрович, Архаров Алексей Михайлович, Архаров Иван Алексеевич [и др.]. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. - 880 с.
8. Никифоров Ю.В., Казакова А.А., Алёхина М.Б. Адсорбционные воздухоразделительные установки для получения газообразного и жидкого азота: учеб. пособие / Никифоров Ю.В., Казакова А.А., Алёхина М.Б. ; МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский ун-т). - 2-е изд., испр. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. - 61 с.
9. Леонов В. П. Расчет турбодетандера: учебно-методическое пособие / Леонов В.П.; МГТУ им. Н.Э. Баумана. (Нац. исслед. ун-т). - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. - 32 с.
10. Петров А.И., Протопопов А.А. Кавитационные испытания центробежного насоса: учебно-методическое пособие / Петров А.И., Протопопов А.А. ; МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский ун-т). - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. - 22 с.
11. Куприянов М.Ю., Кононова В.Д. Расчёт аппаратов криогенной ректификации: учебно-методическое пособие / Куприянов М.Ю., Кононова В.Д.; МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский ун-т). - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. – 76 с.

5.4. Методические рекомендации

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

Зачет проводится в формате тестирования. 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» ставится 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 профессиональной деятельности	Ответы на вопросы	Количество правильных ответов

7.2. Комплект оценочных средств

7.2.1. Темы для подготовки к зачету:

1. Бинарные смеси.
2. Ректификация.
3. Очистка газов и жидкостей от примесей.
4. Сорбция и абсорбция.
5. Осушка газовой среды.
6. Термодинамические процессы влажного воздуха.
7. Тепломассообмен жидких и газообразных продуктов разделения воздуха.
8. Гидрогазодинамика жидких и газообразных продуктов разделения воздуха.
9. Теплообменные аппараты.
10. Конденсаторы-испарители.
11. Турбодетандеры.
12. Насосы и крио-насосы.
13. Термодинамические процессы ожижения газов.
14. Эксплуатация ВРУ.
15. Производство смесей.
16. Производство газов высокой чистоты.
17. Опасные факторы при производстве продуктов разделения воздуха.
18. Взрывобезопасность воздухоразделительных установок и технических устройств.
19. Правила безопасной эксплуатации ВРУ и технических устройств, работающих в среде продуктов разделения воздуха.
20. Материалы, применяемые в ВРУ при ППРВ.

7.2.2. Примеры вопросов для проведения итогового контроля:

1. Основные характеристики, законы и термодинамические диаграммы, используемые для расчёта процессов ректификации бинарной смеси.
2. Назовите основные процессы, применяемые для осушки воздуха.
3. Опишите конструкцию турбодетандера и процессы, происходящие в его частях.
4. Как осуществляется низкотемпературная ректификация.
5. Основные типы теплообменных аппаратов и их характеристики.
6. Основные холодопроизводящие процессы в низкотемпературных циклах.
7. Особенности взаимодействия кислорода с веществами, из которых изготавливаются основные части воздухоразделительных установок.
8. Основные компоненты воздухоразделительных установок.
9. Конструктивные особенности криогенных насосов и особенности их работы.
10. Свойства конструкционных материалов при низких температурах и основные металлы и сплавы, применяемые в криогенной технике.
11. Проиллюстрируйте применение закона Рауля для определения фазового состава бинарной смеси.
12. Что такое точка росы, температура сухого и влажного термометров для влажного воздуха?
13. Какие характеристики лучше и хуже при сравнении витых трубчатых и пластинчато-ребристых теплообменных аппаратов?
14. Укажите особенности применения циклов простого дросселирование и укажите основные отличия от детандерных циклов.
15. Опишите работу воздухоразделительной установки.
16. С какими соединениями наиболее опасен кислород?
17. Какие металлы применяются в конструкциях криогенных установок?