

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
«02» февраля 2026 г.



Дополнительное профессиональное образование

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА
ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ
«Основы криогенной техники и ожижение природного газа»

Регистрац. № 05.22.2301.70

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	29
7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ	30
7.1. Паспорт комплекта оценочных средств.....	30
7.2. Комплект оценочных средств.....	30

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 «Основы криогенной техники и ожижение природного газа».

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 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
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	Инженерно-техническое обеспечение соблюдения эксплуатационных показателей работы технологического оборудования по производству, хранению и отгрузке СПГ	Принимать решения и координировать деятельность работников по изменению рабочих параметров технологических режимов производства, хранения и отгрузки СПГ	Основные принципы эксплуатации промышленных технологических систем

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 72 академических часа, из них 36 академических часов аудиторной работы, 32 академических часа самостоятельной работы и 4 академических часа итоговой аттестации.

2.3. Форма обучения

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

2.4. Учебный план

ДПП «Основы криогенной техники и ожижение природного газа» реализуется четырьмя модулями.

№ п/п	Наименование темы, модуля	Форма контроля	Всего, час	В том числе			
				Лекции	Практ. занятия	Самост. работа	Итоговая аттестация
Модуль 1. Свойства основных веществ криогенной техники и способы понижения температуры							
1.1	Свойства воздуха и его компонентов. Свойства водорода и гелия	Устный опрос	2	1	-	1	-
1.2	Теоретические основы понижения температуры	Устный опрос	2	1	-	1	-
1.3	Процессы дросселирования газов и жидкостей	Устный опрос	3	1	1	1	-
1.4	Процессы изоэнтропного расширения и расширения в детандерах	Устный опрос	2	1	-	1	-
Модуль 2. Основные циклы ожижения и их характеристики							
2.1	Идеальные циклы	Устный опрос	2	1	-	1	-
2.2	Цикл простого дросселирования	Устный опрос	2	1	-	1	-
2.3	Дроссельный цикл с предварительным охлаждением	Устный опрос	2	1	-	1	-

2.4	Детандерные циклы	Устный опрос	3	1	1	1	-
Модуль 3. Ожижение, хранение, транспортировка и регазификация природного газа							
3.1	Природный газ и его основные свойства. Состав природного газа	Устный опрос	2	1	-	1	-
3.2	Малотоннажное ожижение природного газа	Устный опрос	2	1	-	1	-
3.3	Крупнотоннажное ожижение природного газа	Устный опрос	2	1	-	1	-
3.4	Технологические операции и основное оборудование при сливе /наливе СПГ	Устный опрос	2	1	-	1	-
3.5	Транспортировка и хранение СПГ	Устный опрос	2	1	-	1	-
3.6	Основы промышленной безопасности при работе с СПГ	Устный опрос	2	1	-	1	-
Модуль 4. Разделение газовых смесей							
4.1	Газовые смеси. Основные способы разделения газовых смесей	Устный опрос	7	2	2	3	-
4.2	Фазовые равновесия жидкости и пара для бинарных смесей	Устный опрос	6	2	1	3	-
4.3	Процессы дисцилляции и ректификации	Устный опрос	6	2	1	3	-
4.4	Ректификационная колонна однократной ректификации	Устный опрос	6	2	1	3	-
4.5	Ректификационные установки для разделения воздуха. Получение кислорода и азота	Устный опрос	13	4	3	6	-
5.	Итоговая аттестация	Устный опрос	4	-	-	-	4
ИТОГО		-	72	26	10	32	4

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 основных веществ криогенной техники и способы понижения температуры									
2.	Основные циклы ожижения и их характеристики									
3.	Ожижение, хранение, транспортировка и регазификация природного газа									
4.	Разделение газовых смесей									
5.	Итоговая аттестация									Зачет

Минимальный срок освоения ДПП – 9 дней.

4. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДПП

4.1. Рабочая программа модуля «Свойства основных веществ криогенной техники и способы понижения температуры»

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. Задача изучения модуля: формирование знаний по научным основам криогенной техники.

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: Основные принципы эксплуатации промышленных технологических систем. Уметь: Принимать решения и координировать деятельность работников по изменению рабочих параметров технологических режимов производства, хранения и отгрузки СПГ. Владеть: Инженерно-техническое обеспечение соблюдения эксплуатационных показателей работы технологического оборудования по производству, хранению и отгрузке СПГ.	Формы обучения: Фронтальная. Методы обучения: Лекция; Практические занятия; Самостоятельная работа.

4.1.4 Содержание курса

Тема 1.1. Свойства воздуха и его компонентов. Свойства водорода и гелия (2 часа)

Лекции (1 час). Воздух и его основные компоненты. Особые свойства водорода и гелия. Особенности получения и ожижения.

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
Свойства воздуха и его компонентов. Свойства водорода и гелия	Свойства газов	Проработка дополнительной литературы	1. Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с. 2. Справочник по физико-техническим основам криогеники /под ред. М.П. Малкова. М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДА Т. 1985. 432 с.	Устный опрос

Тема 1.2. Теоретические основы понижения температуры (2 часа)

Лекции (1 час). Свойства реальных газов. Термодинамические процессы, приводящие к понижению температуры.

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
Теоретические основы понижения температуры	Термодинамика газов	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	Устный опрос

Тема 1.3. Процессы дросселирования газов и жидкостей (3 часа)

Лекции (1 час). Процессы адиабатного расширения газов. Процесс дросселирования. Кривая инверсии. Дросселирование жидкостей.

Практические занятия (1 час). Дифференциальный, интегральный и тепловой эффекты дросселирования и их зависимости от давления, температуры и рода газа. Особенности дросселирования.

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
Процессы дросселирования газов и жидкостей	Дросселирование газов и жидкостей	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	Устный опрос

Тема 1.4. Процессы изэнтропного расширения и расширения в детандерах (2 часа)

Лекции (1 час). Изэнтропное расширения газа. Описание этого процесса. Изэнтропная и реальная работа детандера.

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
Процессы изэнтропного расширения и расширения в детандерах	Расширение газов	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован	Устный опрос

			МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	
--	--	--	---	--

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

Тема 1.1

1. Воздух и его основные компоненты.
2. Свойства и применение азота, кислорода и аргона.
3. Свойства водорода и гелия.

Тема 1.2

1. Чем свойства реальных газов отличаются от идеальных?
2. Напишите различные уравнения состояния реальных газов.
3. Как термодинамически описываются процессы понижения температуры?

Тема 1.3

1. Процесс дросселирования и его связь с кривой инверсии.
2. Дайте определения дифференциального, интегрального и теплового эффектов дросселирования и опишите их зависимости от давления, температуры и рода газа.
3. В чем заключаются особенности дросселирования жидкостей?

Тема 1.4

1. Что такое изоэнтропное расширения газа?
2. Напишите уравнение адиабаты Пуассона.
3. Чем отличаются изоэнтропная и реальная работа детандера?

4.2. Рабочая программа модуля «Основные циклы ожижения и их характеристики»

4.2.1. 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).

4.2.2. Задача изучения модуля: изучение основных процессов ожижения природного газа.

4.2.3. 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	<p>Знать: Основные принципы эксплуатации промышленных технологических систем.</p> <p>Уметь: Принимать решения и координировать деятельность работников по изменению рабочих параметров технологических режимов производства, хранения и отгрузки СПГ.</p> <p>Владеть: Инженерно-техническое обеспечение соблюдения эксплуатационных показателей работы технологического оборудования по производству, хранению и отгрузке СПГ.</p>	<p>Формы обучения: Фронтальная.</p> <p>Методы обучения: Лекция; Практические занятия; Самостоятельная работа.</p>

4.2.4. Содержание курса

Тема 2.1. Идеальные циклы (2 часа)

Лекции (1 час). Идеальные циклы для реализации процессов термостатирования, охлаждения, ожижения и разделения газовых смесей. Минимальная работа для реализации этих процессов и её физический смысл.

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
Идеальные циклы	Газовые циклы	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	Устный опрос

Тема 2.2. Цикл простого дросселирования (2 часа)

Лекции (1 час). Парокопресссионный цикл холодильной машины. Цикл простого дросселирования для криогенных рабочих веществ, рефрижераторный и ожижительный режимы. Достоинства и недостатки цикла простого дросселирования.

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
Теоретические основы понижения температуры	Ожижение газов	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	Устный опрос

Тема 2.3. Дроссельный цикл с предварительным охлаждением (2 часа)

Лекции (1 час). Невозможность ожижения водорода, неона и гелия в цикле простого дросселирования. Реализация предварительного охлаждения. Достоинства и недостатки дроссельного цикла с предварительным охлаждением.

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
Дроссельный цикл с предварительным охлаждением	Ожижение газов	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	Устный опрос

Тема 2.4. Детандерные циклы (3 часа)

Лекции (1 час). Преимущества детандирования перед дросселированием. Классический цикл Клода. Цикл П.Л. Капицы.

Практические занятия (1 час). Установка детандеров на разных температурных уровнях. Цикл Гейланда, его достоинства и недостатки.

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
Детандерные циклы	Детандирование	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	Устный опрос

4.2.5. Оценочное средство для текущего контроля (темы и вопросы устного опроса):

Тема 2.1

1. Что такое идеальный низкотемпературный цикл?
2. Опишите циклы для реализации процессов термостатирования, охлаждения, ожижения и разделения газовых смесей.
3. Как определяется минимальная работа для реализации идеальных циклов каков и её физический смысл.

Тема 2.2

1. Опишите пароконденсационный цикл холодильной машины.
2. Нарисуйте схему и изображение процессов на диаграмме энтропия - температура для рефрижераторного режима цикла простого дросселирования для криогенных рабочих веществ.
3. Нарисуйте схему и изображение процессов на диаграмме энтропия - температура для ожижительного режима работы цикла простого дросселирования для криогенных рабочих веществ.

Тема 2.3

1. Почему нельзя ожижить водород, неон и гелий в цикле простого дросселирования?
2. Как реализуется предварительное охлаждение?

3. Укажите достоинства и недостатки дроссельного цикла с предварительным охлаждением.

Тема 2.4

1. Приведите схему и процессы на диаграмме температура - энтропия для классического цикла Клода.
2. Расскажите про основные особенности цикла П.Л. Капицы.
3. Почему устанавливают детандеры на разных температурных уровнях?

4.3. Рабочая программа модуля «Ожижение, хранение, транспортировка и регазификация природного газа»

4.3.1. 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).

4.3.2. Задача изучения модуля: изучение основных методов ожижения, хранения и транспортировки природного газа.

4.3.3. 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	<p>Знать: Основные принципы эксплуатации промышленных технологических систем.</p> <p>Уметь: Принимать решения и координировать деятельность работников по изменению рабочих параметров технологических режимов производства, хранения и отгрузки СПГ.</p> <p>Владеть: Инженерно-техническое обеспечение соблюдения эксплуатационных показателей работы технологического оборудования по производству, хранению и отгрузке СПГ.</p>	<p>Формы обучения: Фронтальная.</p> <p>Методы обучения: Лекция; Самостоятельная работа.</p>

4.3.4. Содержание курса

Тема 3.1. Природный газ и его основные свойства. Состав природного газа (2 часа)

Лекции (1 час). Природный газ. Состав природного газа. Основные свойства природного газа.

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
Природный газ и его основные свойства. Состав природного газа	Природный газ	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-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 256 с.	Устный опрос

Тема 3.2. Малотоннажное ожижение природного газа (2 часа)

Лекции (1 час). Дроссельные циклы для ожижения природного газа. Применение промежуточного теплоносителя.

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
Теоретические основы понижения температуры	Ожижение природного газа	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-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 256 с.	Устный опрос

Тема 3.3. Крупнотоннажное ожижение природного газа (2 часа)

Лекции (1 час). Отличие крупнотоннажного от малотоннажного ожижения природного газа. Прямое ожижение природного газа. Использование чистых и смесевых рабочих веществ в ожижителях природного газа.

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
Крупнотоннажное ожижение природного газа	Ожижение природного газа	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-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 256 с.	Устный опрос

Тема 3.4. Технологические операции и основное оборудование при сливе /наливе СПГ (2 часа)

Лекции (1 час). Криогенные насосы для перекачки СПГ. Особенности установки насосов в хранилищах СПГ. Криогенные трубопроводы для транспортировки СПГ.

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
Технологические операции и основное оборудование при сливе /наливе СПГ	Насосы, перекачка	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.	Устный опрос

			Н.Э. Баумана, 2009. - 256 с. Под ред. А.М. Архарова. - М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 256 с.	
--	--	--	---	--

Тема 3.5. Транспортировка и хранение СПГ (2 часа)

Лекции (1 час). Изотермические и криогенные резервуары для хранения СПГ. Состав оборудования криогенных резервуаров. Особенности конструкции транспортных морских резервуаров СПГ.

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
Транспортировка и хранение СПГ	Транспортировка, хранение	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-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 256 с.	Устный опрос

Тема 3.6. Основы промышленной безопасности при работе с СПГ (2 часа)

Лекции (1 час). СПГ как пожаро-взрывоопасный продукт. Особенности безопасности при хранении и транспортировки криогенных жидкостей. Предохранительное оборудование на ёмкостях с СПГ.

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
Основы промышленной безопасности при работе с СПГ	Транспортировка, хранение	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-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 256 с.	Устный опрос

4.3.5. Оценочное средство для текущего контроля (темы и вопросы устного опроса):

Тема 3.1

1. Опишите состав природного газа.
2. Приведите основные свойства природного газа.
3. В чем заключаются особенности природного газа как криогенного рабочего вещества?

Тема 3.2

1. В чем заключаются особенности ожижения природного газа?
2. Можно ли применять дроссельные циклы для ожижения природного газа?
3. К чему приводит применение промежуточного теплоносителя при малотоннажном ожижении природного газа?

Тема 3.3

1. Назовите отличие крупнотоннажного от малотоннажного ожижения природного газа.
2. Почему используется прямое ожижение природного газа?
3. Достоинства и недостатки чистых и смесевых рабочих веществ в ожижителях природного газа.

Тема 3.4

1. В чем особенность конструкции криогенных насосов для перекачки СПГ?
2. Укажите особенности установки насосов в хранилищах СПГ.

3. Опишите конструкцию и основные элементы криогенных трубопроводов для транспортировки СПГ.

Тема 3.5

1. В чем основное отличие изотермических от криогенных резервуаров для хранения СПГ?
2. Укажите состав оборудования криогенных резервуаров. Особенности конструкции транспортных морских резервуаров СПГ.
3. Опишите особенности конструкции транспортных морских резервуаров СПГ.

Тема 3.6

1. В чем заключается пожаро-взрывоопасность СПГ?
2. В чем заключаются особенности безопасности при хранении и транспортировки криогенных жидкостей?
3. В чем заключается назначение и работа предохранительного оборудования в ёмкостях с СПГ?

4.4. Рабочая программа модуля «Разделение газовых смесей»

4.4.1. 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).

4.4.2. Задача изучения модуля: знакомство с основами разделения газовых смесей методом низкотемпературной ректификации.

4.4.3. 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	<p>Знать: Основные принципы эксплуатации промышленных технологических систем.</p> <p>Уметь: Принимать решения и координировать деятельность работников по изменению рабочих параметров технологических режимов производства, хранения и отгрузки СПГ.</p> <p>Владеть:</p>	<p>Формы обучения: Фронтальная.</p> <p>Методы обучения: Лекция; Практические занятия; Самостоятельная работа.</p>

	Инженерно-техническое обеспечение соблюдения эксплуатационных показателей работы технологического оборудования по производству, хранению и отгрузке СПГ.	
--	--	--

4.4.4 Содержание курса

Тема 4.1. Газовые смеси. Основные способы разделения газовых смесей (7 часов)

Лекции (2 часа). Газовые смеси и единицы измерения их состава. Основные способы разделения газовых смесей: ректификация, дисцилляция, адсорбция, магнитный способ разделения кислородосодержащих смесей.

Практические занятия (2 часа). Очистка газов и жидкостей от примесей. Применение процессов сорбции в криогенной технике. Работа абсорбционных устройств.

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

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Газовые смеси. Основные способы разделения газовых смесей	Газовые смеси	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	Устный опрос

Тема 4.2. Фазовые равновесия жидкости и пара для бинарных смесей (6 часов)

Лекции (2 час). Бинарные смеси газов. Высококипящий и низкокипящий компонент смеси. Фазовые равновесия. Процесс низкотемпературной ректификации бинарной смеси.

Практические занятия (1 час). Жидкие криогенные продукты разделения воздуха и их свойства. Применение криогенных жидкостей.

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
Фазовые равновесия жидкости и пара для бинарных смесей	Бинарные смеси	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	Устный опрос

Тема 4.3. Процессы дисцилляции и ректификации (6 часов)

Лекции (2 часа). Процессы кипения и конденсации бинарного раствора с отводом и без отвода образовавшегося пара или жидкости. Дисцилляция бинарного раствора. Процесс ректификации газовой смеси.

Практические занятия (1 час). Ректификация бинарной газовой смеси. Высококипящий и низкокипящий компоненты. Диаграммы фазового равновесия бинарных смесей. Изображение процессов нагрева, охлаждения и дросселирования на этих диаграммах

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
Процессы дисцилляции и ректификации	Дисцилляция и ректификация	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	Устный опрос

Тема 4.4. Ректификационная колонна однократной ректификации (6 часов)

Лекции (2 часа). Основные части ректификационной установки. Колонна однократной и двухкратной ректификации. Испаритель и куб колонны. Ввод смеси и вывод продуктов разделения в газообразном и жидком виде.

Практические занятия (1 час). Вывод уравнения рабочей линии в ректификационной колонне. Тепловой и материальный баланс потоков в ректификационной колонне.

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
Ректификационная колонна однократной ректификации	Ректификационная колонна	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	Устный опрос

Тема 4.5. Ректификационные установки для разделения воздуха. Получение кислорода и азота (13 часов)

Лекции (4 часа). Состав криогенной установки для разделения газовых смесей. Уравнения теплового и материального баланса ректификационной установки. Тарельчатые и насадочные колонны. Понятие теоретической тарелки. Холодопроизводящие процессы в ректификационной установке. Зависимость чистоты выводимого продукта от его количества.

Практические занятия (3 часа). Применение детандеров в установках разделения газовых смесей. Особенности подачи разделяемой смеси в ректификационную колонну в жидком, газообразном и парожидкостном видах. Получение азота и кислорода из воздуха методом низкотемпературной ректификации.

Самостоятельная работа (6 часов). Проработка материала дополнительной литературы по теме.

Наименование темы	Дидактические единицы, вынесенные на самостоятельное изучение	Формы самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение	Форма контроля
Ректификационные установки для разделения воздуха. Получение кислорода и азота	Разделение воздуха	Проработка дополнительной литературы	Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	Устный опрос

4.4.5. Оценочное средство для текущего контроля (темы и вопросы устного опроса):

Тема 4.1

1. Укажите единицы измерения состава газовых смесей. Основные способы разделения газовых смесей: ректификация, дисцилляция, адсорбция, магнитный способ разделения кислородосодержащих смесей.
2. Укажите основные способы разделения газовых смесей.
3. Какой способ разделения газовых смесей используется для извлечения гелия из СПГ?

Тема 4.2

1. Что такое бинарная смесь газов?
2. В чем заключаются фазовые равновесия бинарной смеси?
3. Какие основные диаграммы используются при рассмотрении процессов разделения газовых смесей?

Тема 4.3

1. В чем основное отличие процессов кипения и конденсации бинарного раствора с отводом и без отвода образовавшегося пара или жидкости?
2. Какие процессы происходят при дисцилляции бинарного раствора?
3. Опишите процесс ректификации газовой смеси.

Тема 4.4

1. Укажите основные части ректификационной установки.
2. Что такое конденсатор и куб колонны?
3. В каких местах ректификационной колонны осуществляется ввод смеси и вывод продуктов разделения в газообразном и жидком виде?

Тема 4.5

1. Укажите состав криогенной установки для разделения газовых смесей.
2. Что такое теоретическая тарелка?
3. Как зависит чистоты выводимого продукта из ректификационной установки от его количества?

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. Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы Т.1 Основы теории и расчета. Учебник, рекомендован МОиПО. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.
2. 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-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 256 с.
3. 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. М.: Машиностроение. 1996. 576 с.

Дополнительная литература:

1. 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.
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 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. 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	В Ответы на вопросы	Количество правильных ответов

7.2. Комплект оценочных средств

7.2.1. Темы для подготовки к зачету:

1. Основные способы понижения температуры.
2. Кривая инверсии.
3. Процессы дросселирования и изоэнтропного расширения.
4. Основные холодопроизводящие процессы в низкотемпературных циклах.
5. Основные криогенные циклы ожижения.
6. Циклы для крупнотоннажного ожижения природного газа.
7. Основные способы разделения газовых смесей.
8. Основные характеристики, законы и термодинамические диаграммы, используемые для расчёта процессов ректификации бинарной смеси.
9. Основные компоненты воздухоразделительных установок.
10. Расчёт воздухоразделительных установок.

7.2.2. Пример билета для проведения зачёта:

1. Воздух и его основные компоненты. Их свойства и применение.
2. Дроссельные и детандерные циклы.
3. Особенности ожижения природного газа.
4. Низкотемпературная дисцилляция и ректификация.
5. Процессы в тарельчатых и насадочных ректификационных колоннах.