

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 16.09.2023 11:30:17
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета
химической технологии и биотехнологии



/ С.В. Белуков /

« 31 августа » 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Циклы криогенных систем»

Направление подготовки

16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

Профиль «Холодильная техника и технологии»

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва 2020

1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Циклы криогенных систем» следует отнести:

– подготовка студентов и освоение ими схем и циклов криогенных систем и установок.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Циклы криогенных систем» следует отнести:

- освоение процессов и циклов, протекающих в криогенных системах;
- расчет циклов и схем для процессов в криогенных системах.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Циклы криогенных систем» относится к числу профессиональных учебных вариативных дисциплин базового цикла (Б1) основной образовательной программы бакалавриата.

Дисциплина «Циклы криогенных систем» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- «Физика»;
- «Термодинамика»;
- «Теплопередача».

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-3	готовностью выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области	Знать: <ul style="list-style-type: none">• теоретические основы криогенной техники• процессы низкотемпературных установок• теорию и расчет циклов криогенных

	<p>холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, теплофизических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и аппаратам</p>	<p>систем</p> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • пользоваться T-s диаграммой веществ и уметь построить в ней цикл • выполнять расчетные работы с циклами криогенных систем • решать научно-технические задачи с циклами криогенных систем <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • T-s диаграммой веществ • анализировать процессы, протекающие в низкотемпературных системах • методикой расчета циклов криогенных систем
--	---	--

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **3** зачетных единицы, т.е. **108** академических часов (из них 54 часа – самостоятельная работа студентов).

Разделы дисциплины «Циклы криогенных систем» изучаются на третьем курсе.

Пятый семестр: лекции – 36 часов, семинары и практические занятия – 18 часов, форма контроля – зачет.

Структура и содержание дисциплины «Циклы криогенных систем» по срокам и видам работы отражены в приложении.

Содержание разделов дисциплины

Пятый семестр

1. Введение. Шкала температур и основные рабочие вещества низкотемпературной техники.
2. Основные понятия и законы. Свойства рабочих веществ низкотемпературной техники.
3. Основные законы (начала) термодинамики.
4. Уравнение состояния реального газа. Закон соответственных состояний.
5. Термодинамические и теплофизические свойства веществ.
6. Особенности некоторых веществ.
7. Основные рабочие линии диаграммы T-s диаграммы при $p > 0,1$ МПа.
8. Фазовые пограничные линии на T-s диаграмме.
9. T-s диаграмма в области рабочих давлений.

10. Основные процессы для получения низких температур.
11. Принцип получения низких температур с использованием газообразных веществ.
12. Изменение основных термодинамических параметров при сжатии реальных газов. Работа изотермического сжатия.
13. Реальный процесс сжатия. Определение работы сжатия в компрессоре.
14. Процесс дросселирования.
15. Температура инверсии.
16. Процесс расширения в детандере.
17. Адиабатное необратимое расширение газа с совершением внешней работы (выхлоп).
18. Циклы криогенных установок.
19. Идеальные циклы низкотемпературных установок. Идеальный цикл охлаждения. Идеальный цикл сжижения.
20. Криогенные циклы с дросселированием. Теоретический цикл термостатирования (без учета потерь). Действительный цикл термостатирования (с учетом потерь).
21. Цикл сжижения с однократным дросселированием. Теоретический цикл без учета потерь. Действительный цикл сжижения с однократным дросселированием.
22. Цикл сжижения с однократным дросселированием и предварительным внешним охлаждением.
23. Циклы с применением нескольких ступеней охлаждения.
24. Цикл с двойным дросселированием и циркуляцией дроссельного потока.
25. Сравнительные характеристики циклов сжижения воздуха.
26. Циклы с дросселированием и расширением рабочего вещества в детандере. Цикл среднего давления. Цикл высокого давления.
27. Сложные циклы. Ожижительные циклы.
28. Цикл с дросселированием, расширением рабочего газа в детандере и предварительным внешним охлаждением.
29. Цикл с двумя каскадно включенными детандерами и дроссельной ступенью охлаждения.
- 30.** Циклы газовых холодильных машин (цикл Стирлинга).

5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Циклы криогенных систем» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с

внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– работа на семинарах по решению задач и определению параметров для циклов низкотемпературных систем.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «Циклы криогенных систем» и в целом по дисциплине составляет 40 % аудиторных занятий.

Занятия лекционного типа составляют 33 % от объема аудиторных занятий.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

В пятом семестре

- выполнение курсовой работы «Расчет и анализ криогенных циклов».

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают вопросы и задания для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины, защита курсовой работы.

Образцы вопросов и заданий для проведения текущего контроля приведены в приложении.

6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать
ПК-3	готовностью выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения на основе достижений техники и технологий, классических

и технических теорий и методов, теплофизических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и аппаратам

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

ПК-3 - готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, теплофизических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и аппаратам				
Показатель	Критерии оценивания			
	2	3	4	5
знать: теоретические основы криогенной техники, процессы низкотемпературных установок, теорию и расчет циклов криогенных систем	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: не знает основ криогенной техники, процессов в низкотемпературных установках и не может рассчитать циклы криогенных систем.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основы криогенной техники, процессы в низкотемпературных установках и расчет циклов криогенных систем. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: основы криогенной техники, процессы в низкотемпературных установках и расчет циклов криогенных систем, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основы криогенной техники, процессы в низкотемпературных установках и расчет циклов криогенных систем, свободно оперирует приобретенными знаниями.

		знаниями при их переносе на новые ситуации.		
уметь: пользоваться T-s диаграммой веществ и уметь построить в ней цикл, выполнять расчетные работы с циклами криогенных систем, решать научно-технические задачи с циклами криогенных систем	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени понимает T-s диаграмму веществ, не может построить цикл в T-s диаграмме, не может рассчитать циклы криогенных систем, не может решить научно-технические задачи с циклами криогенных систем.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: не полностью понимает T-s диаграмму веществ, может построить цикл в T-s диаграмме, может рассчитать циклы криогенных систем, может решить научно-технические задачи с циклами криогенных систем. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: понимает T-s диаграмму веществ, может построить цикл в T-s диаграмме, может рассчитать циклы криогенных систем, может решить научно-технические задачи с циклами криогенных систем. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: понимает T-s диаграмму веществ, может построить цикл в T-s диаграмме, может рассчитать циклы криогенных систем, может решить научно-технические задачи с циклами криогенных систем. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: T-s диаграммой веществ, анализировать процессы, протекающие в низкотемпературных системах, методикой расчета циклов криогенных систем	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет T-s диаграммой веществ, не может построить цикл в T-s диаграмме, не понимает процессов, протекающих в низкотемпературных системах, не владеет методиками расчета циклов криогенных систем.	Обучающийся владеет T-s диаграммой веществ, может построить цикл в T-s диаграмме, понимает процессы, протекающие в низкотемпературных системах, владеет методиками расчета циклов криогенных систем, но в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в	Обучающийся частично владеет T-s диаграммой веществ, может построить цикл в T-s диаграмме, понимает процессы, протекающие в низкотемпературных системах, владеет методиками расчета циклов криогенных систем, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет T-s диаграммой веществ, может построить цикл в T-s диаграмме, понимает процессы, протекающие в низкотемпературных системах, владеет методиками расчета циклов криогенных систем, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

		новых ситуациях.		
--	--	------------------	--	--

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: зачет.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Циклы криогенных систем» и защитившие курсовую работу.

Шкала оценивания	Описание
<i>Зачтено</i>	<i>Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.</i>
<i>Не зачтено</i>	<i>Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.</i>

Фонды оценочных средств представлены в приложении 1 к рабочей программе.

	однократным дросселированием.														
11	Цикл сжижения с однократным дросселированием и предварительным внешним охлаждением.	5	11	2	1										
12	Циклы с применением нескольких ступеней охлаждения. Цикл с двойным дросселированием и циркуляцией дроссельного потока.		12	2	1										
13	Сравнительные характеристики циклов сжижения воздуха. Циклы с дросселированием и расширением рабочего вещества в детандере.	5	13	2	1										
14	Цикл среднего давления. Цикл высокого давления.	5	14	2	1										
15	Сложные циклы. Ожижительные циклы.	5	15	2	1										
16	Цикл с дросселированием, расширением рабочего газа в детандере и предварительным внешним охлаждением.	5	16	2	1										
17	Цикл с двумя каскадно включенными детандерами и дроссельной ступенью охлаждения.	5	17	2	1										
18	Циклы газовых холодильных машин (цикл Стирлинга).	5	18	2	1										
	Форма аттестации	5	18						Защита К.Р.						
	Всего часов по дисциплине в пятом семестре			36	18		54		+						3

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) основная литература:

1. Архаров А.М. и др. «Криогенные системы». Том.1. М: Машиностроение, 1967 – 575 с.

б) дополнительная литература:

1. Воробьева, Н. Н. Теплофизические процессы в холодильной технологии : учебное пособие / Н. Н. Воробьева. — Кемерово : КемГУ, 2007. — 150 с. — ISBN 978-5-89289-389-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/4627> (дата обращения: 14.09.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:

Программное обеспечение – Microsoft Office 2013.

Интернет-ресурсы включают учебно-методические материалы в электронном виде, представленные на сайте <http://lib.mami.ru> в разделе «Библиотека», а также в электронных библиотечных системах, с которыми заключены договоры Университетом.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Лекционные и практические занятия и лабораторные работы проводятся в специализированных аудиториях кафедры: Ав2214 и Ав2103, оснащенных соответствующим испытательным стендовым оборудованием, плакатами, натурными образцами узлов, деталей машин.

При кафедре работает консультационно-вычислительный класс Ав2209 для самостоятельной работы, оснащенный компьютерами с соответствующим расчетным и графическим программным обеспечением.

9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа является одним из видов получения образования обучающимися и направлена на:

- изучение теоретического материала, подготовка к лекционным, лабораторным, семинарским (практическим) занятиям;
- подготовка к тестированию с использованием общеобразовательного портала.

Самостоятельная работа студентов представляет собой важнейшее звено учебного процесса, без правильной организации которого обучающийся не может быть высококвалифицированным выпускником.

Студент должен помнить, что начинать самостоятельные занятия следует с первого семестра и проводить их регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

Важно полнее учесть обстоятельства своей работы, уяснить, что является главным на данном этапе, какую последовательность работы выбрать, чтобы выполнить ее лучше и с наименьшими затратами времени и энергии.

Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Студент должен помнить, что в процессе обучения важнейшую роль играет самостоятельная работа с книгой. Научиться работать с книгой – важнейшая задача студента. Без этого навыка будет чрезвычайно трудно изучать программный материал, и много времени будет потрачено нерационально. Работа с книгой складывается из умения подобрать необходимые книги, разобраться в них, законспектировать, выбрать главное, усвоить и применить на практике.

10. Методические рекомендации для преподавателя

Основным требованием к преподаванию дисциплины является творческий, проблемно-диалоговый подход, позволяющий повысить интерес студентов к содержанию учебного материала.

Основная форма изучения и закрепления знаний по этой дисциплине – лекционная, лабораторная и практическая. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Основу учебных занятий по дисциплине составляют лекции. В процессе обучения студентов используются различные виды учебных занятий (аудиторных и внеаудиторных): лекции, семинарские занятия, лабораторные работы, консультации и т.д. На первом занятии по данной учебной дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения, раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только четко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрыть содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала вопросы и давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических и лабораторных занятий – обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы.

Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам, желанию у студентов поработать у доски при решении задач.

После каждого лекционного, лабораторного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

ОП (профиль): «Холодильная техника и технологии»
Форма обучения: очная

Кафедра: «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Циклы криогенных систем

Состав: 1. Паспорт фонда оценочных средств
2. Описание оценочных средств

Составитель:

Ермолаева П.Ю.

ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Циклы криогенных систем					
ФГОС ВО 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»					
В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции:					
КОМПЕТЕНЦИИ		Перечень компонентов	Технология формирования компетенций	Форма оценочного средства**	Степени уровней освоения компетенций
ИН-ДЕКС	ФОРМУЛИРОВКА				
ПК-3	готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, теплофизических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам,	<p>Знать: теоретические основы криогенной техники, процессы низкотемпературных установок, теорию и расчет циклов криогенных систем</p> <p>Уметь: пользоваться T-s диаграммой веществ и уметь построить в ней цикл, выполнять расчетные работы с циклами криогенных систем, решать научно-</p>	лекция, самостоятельная работа, семинарские занятия	К.Р.	<p>Базовый уровень - понимает T-s диаграмму веществ, может построить цикл в T-s диаграмме, может рассчитать циклы криогенных систем, может решить научно-технические задачи с циклами криогенных систем</p> <p>Повышенный уровень - владеет T-s диаграммой веществ, может построить цикл в T-s диаграмме, понимает процессы, протекающие в низкотемпературных системах, владеет методиками расчета циклов криогенных систем</p>

	машинам и аппаратам	технические задачи с циклами криогенных систем Владеть: Т-s диаграммой веществ, анализировать процессы, протекающие в низкотемпературных системах, методикой расчета циклов криогенных систем			
--	---------------------	--	--	--	--

** - Сокращения форм оценочных средств см. в приложении 2 к РП.

Перечень оценочных средств по дисциплине «Циклы криогенных систем»

№ ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в ФОС
1	Курсовая работа (К.Р.)	Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.	Комплект заданий для выполнения курсовой работы

ПК-3 - готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, теплофизических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и аппаратам					
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	Экзамен			
		Критерии оценивания			
		2	3	4	5
Владеет T-s диаграммой веществ, может построить в ней цикл, понимает процессы, протекающие в низкотемпературных системах, владеет методиками расчета циклов криогенных систем	18	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное владение знаниями	Обучающийся демонстрирует неполное владение знаниями, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний по ряду показателей	Обучающийся демонстрирует частичное владение знаниями, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное владение знаниями, свободно оперирует приобретенными знаниями.

Вопросы к зачету

по дисциплине **«Циклы криогенных систем»**
(наименование дисциплины)

1. Шкала температур и основные рабочие вещества низкотемпературной техники.
2. Основные понятия и законы.
3. Свойства рабочих веществ низкотемпературной техники.
4. Основные законы (начала) термодинамики.
5. Уравнение состояния реального газа.
6. Закон соответственных состояний.
7. Термодинамические и теплофизические свойства веществ.
8. Особенности некоторых веществ.
9. Основные рабочие линии диаграммы T-s диаграммы при $p > 0,1$ МПа.
10. Фазовые пограничные линии на T-s диаграмме.

11. T-s диаграмма в области рабочих давлений.
12. Основные процессы для получения низких температур.
13. Принцип получения низких температур с использованием газообразных веществ.
14. Изменение основных термодинамических параметров при сжатии реальных газов. Работа изотермического сжатия.
15. Реальный процесс сжатия.
16. Определение работы сжатия в компрессоре.
17. Процесс дросселирования.
18. Температура инверсии.
19. Процесс расширения в детандере.
20. Адиабатное необратимое расширение газа с совершением внешней работы (выхлоп).
21. Циклы криогенных установок.
22. Идеальные циклы низкотемпературных установок.
23. Идеальный цикл охлаждения.
24. Идеальный цикл сжижения.
25. Криогенные циклы с дросселированием.
26. Теоретический цикл термостатирования (без учета потерь).
27. Действительный цикл термостатирования (с учетом потерь).
28. Цикл сжижения с однократным дросселированием.
29. Теоретический цикл без учета потерь.
30. Действительный цикл сжижения с однократным дросселированием.
31. Цикл сжижения с однократным дросселированием и предварительным внешним охлаждением.
32. Циклы с применением нескольких ступеней охлаждения.
33. Цикл с двойным дросселированием и циркуляцией дроссельного потока.
34. Сравнительные характеристики циклов сжижения воздуха.
35. Циклы с дросселированием и расширением рабочего вещества в детандере.
36. Цикл среднего давления.
37. Цикл высокого давления.
38. Сложные циклы.
39. Ожижительные циклы.
40. Цикл с дросселированием, расширением рабочего газа в детандере и предварительным внешним охлаждением.
41. Цикл с двумя каскадноключенными детандерами и дроссельной ступенью охлаждения.
42. Циклы газовых холодильных машин (цикл Стирлинга).

43. Исходя из понятия моля газа, определить плотность и удельный объем при н.у. (при $T = 273 \text{ К}$ и $p = 0,101 \text{ МПа}$) для азота, водорода и гелия.
44. Определить плотность газообразных азота, водорода, гелия при $T = 200 \text{ К}$ и $p = 0,101 \text{ МПа}$, если принять их как идеальные.
45. С помощью T - s диаграммы определить, сколько «холода» выводится из установки с 1 кг жидкого азота при $p = 0,1 \text{ МПа}$.
46. Какое количество теплоты необходимо отвести от 1 кг азота при $p = 0,1 \text{ МПа}$ для его охлаждения с температуры 300 К до состояния насыщенного пара. Определить теплоту фазового перехода при $p = 0,1 \text{ МПа}$.
47. Мощность нагревателя 10 Вт . Определить, сколько жидкого азота испарится за 1 час работы водонагревателя, помещенного в открытый сосуд Дьюара.
48. Определить работу изотермического сжатия 1 кг воздуха до $p_2 = 20 \text{ МПа}$, если $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $T_1 = 300 \text{ К}$.
49. Определить, на сколько больше составляет отводимая в процессе изотермического сжатия теплота от затрачиваемой на сжатие работы для идеального газа и для азота при $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $T_1 = 300 \text{ К}$, $p_2 = 20 \text{ МПа}$.
50. Определить, какой вклад в общую холодопроизводительность низкотемпературной системы вносит процесс изотермического сжатия для:
- А) идеального газа;
 - Б) азота при $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $T_1 = 290 \text{ К}$, $p_2 = 15 \text{ МПа}$.
 - В) водорода при $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $T_1 = 290 \text{ К}$, $p_2 = 15 \text{ МПа}$.
51. Определить, какой вклад в общую холодопроизводительность низкотемпературной установки вносит детандер при расширении в нем 1 кг азота с $p_1 = 1 \text{ МПа}$, $T_1 = 300 \text{ К}$, $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$, $ns = 0,8$.
52. Определить холодопроизводительность детандера, если расход газа азота через него $G = 2 \text{ кг/с}$, $T_1 = 150 \text{ К}$, $p_1 = 0,6 \text{ МПа}$, $p_2 = 0,15 \text{ МПа}$, $ns = 0,8$.
53. Определить конечное значение температуры при расширении газа азота в детандере при $T_1 = 250 \text{ К}$, $p_1 = 1,0 \text{ МПа}$, $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$, $ns = 0,8$.
54. Определить долю пара, полученную при дросселировании жидкого азота при $p_1 = 2,0 \text{ МПа}$, $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$ в состоянии насыщения и в охлажденном состоянии на $\Delta T = 5 \text{ К}$.
55. Определить для цикла Карно при $T_k = 300 \text{ К}$, $T_x = 250 \text{ К}$, сколько тепла отводится от охлаждаемого тела при затратах работы 1 Дж .
56. Определить минимальную работу сжижения азота при $T_0 = 300 \text{ К}$, $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$.
57. Определить коэффициент сжижения, удельный расход энергии и термодинамический КПД для простого цикла с однократным дросселированием при $p_2 = 20 \text{ МПа}$, $\Delta T_n = 5 \text{ К}$, $q_c = 5 \text{ кДж/кг}$, рабочее вещество – азот.

58. Определить коэффициент сжатия, удельный расход энергии и термодинамический КПД для цикла с предварительным охлаждением холодильной машины и дросселированием при $p_2 = 20$ МПа, $T_4 = 230$ К, $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 5$ К, $q_c = 5$ кДж/кг, рабочее вещество – азот.
59. Определить коэффициент сжатия, удельный расход энергии и термодинамический КПД для цикла среднего давления с расширением части газа в детандере и дросселированием при $p_2 = 8$ МПа, $T_3 = 230$ К, $D = 0,6$ кг/кг, $\eta_s = 0,78$, $\Delta T_1 = 8$ К, $q_c = 6$ кДж/кг, $\Delta p_1 = 0,0025$ МПа, рабочее вещество – азот.

ПК-3 - готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, теплофизических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и аппаратам					
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	Оценочное средство			
		Критерии оценивания			
		2	3	4	5
Владение методами анализа и расчета циклов криогенных систем	18	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет анализировать и рассчитывать циклы криогенных систем	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: расчет циклов и анализ криогенных систем. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: расчет циклов и анализ криогенных систем. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: расчет циклов и анализ криогенных систем. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

Темы курсовых работ

по дисциплине «**Циклы криогенных систем**»
(наименование дисциплины)

Тема: Расчет и анализ криогенных циклов.

Методические рекомендации по выполнению курсовых работ

Содержание курсовой работы

Основой низкотемпературной установки является цикл, состоящий из процессов сжатия, теплообмена и расширения. Обоснованный выбор такого цикла и его исходных параметров существенно влияет на характеристики установки.

В криогенной технике применяются циклы, основанные на использовании процессов с дросселированием, а также с дросселированием и расширением рабочего тела в детандере. Самостоятельное значение имеют циклы установок разделения воздуха. Построение, расчет и исследование указанных типов циклов криогенных установок является содержанием курсовой работы.

Курсовая работа содержит два самостоятельных раздела:

1. «Расчет и анализ циклов сжижения с однократным дросселированием»
2. «Расчет и анализ циклов сжижения с дросселированием и расширением газа в детандере»

Выполнение и защита каждого раздела курсовой работы проводится после

Оформление курсовой работы

Расчетно-пояснительная записка оформляется в соответствии с требованиями к выполнению текстовых документов. Записка составляется на листах размера 210x297. Расстояние от края листа до границ текста следует оставлять: слева – не менее 25 мм, справа – не менее 5 мм. Расстояние от верхней и нижней строки текста должно быть не менее 15 мм. Нумерация страниц производится вверху строго посередине текста на расстоянии 12 мм от верхней кромки листа.

Текст записки разделяют на разделы и подразделы. Разделы нумеруются арабскими цифрами с точкой. Номера подразделов состоят из номеров раздела и подраздела (например, 1.2.). Каждый раздел расчетно-пояснительной записки начинается с новой страницы. При выполнении расчетов следует придерживаться системы единиц СИ.

Для пояснения расчетов записка иллюстрируется изображениями схем циклов, основных процессов в тепловой диаграмме, а также графическими зависимостями, построенными по результатам вариантных расчетов. Графики выполняются в масштабе.

Раздел 1. Расчет и анализ циклов сжижения с однократным дросселированием

Содержание отчета о работе

1.1 Принципиальная схема, изображение в T-S диаграмме и расчеты простого дроссельного цикла;

1.2 Принципиальная схема, изображение в T-S диаграмме и расчеты цикла с дросселированием и предварительным охлаждением;

1.3 Результаты вариантных расчетов;

1.5 Графическое представление вариантных расчетов: $x = f(P_2, dT)$; $l_1x = f(P_2, dT)$.

1.6 Анализ и выводы.

Задачи и вопросы к проведению расчетного анализа

Проанализировать, как изменяются значения коэффициента сжижения χ и удельного расхода энергии I_f с изменением давления сжатия P_2 . Объяснить характер кривых $\chi = f(P_2)$; $I_f = f(P_2)$. Дать рекомендации по выбору рабочего давления. Отметить, чему равно давление инверсии для азота. Проанализировать влияние недорекуперации dT на χ и I_f .

Проанализировать влияние предварительного охлаждения на основные характеристики цикла. Сопоставить соотношение работы холодильной машины с повышением эффективности цикла.

Варианты типовых исходных данных

№ п/п	$T_{пр}, K$	$q_{ос},$ кДж/(кг·К)	№ п/п	$T_{пр}, K$	$q_{ос},$ кДж/(кг·К)
1	240	2	15	220	2
2	240	4	16	220	4
3	240	6	17	220	6
4	240	8	18	220	8
5	240	10	19	220	10
6	240	12	20	220	12
7	240	14	21	220	14
8	230	2	22	210	2
9	230	4	23	210	4
10	230	6	24	210	6
11	230	8	25	210	8
12	230	10	26	210	10
13	230	12	27	210	12
14	230	14	28	210	14

Раздел 2. «Расчет и анализ циклов сжижения с дросселированием и расширением газа в детандере»

Целью раздела 2 курсовой работы является выполнение расчета и расчетного анализа основных характеристик (коэффициента сжижения, удельного расхода энергии, поверхности теплопередачи) для цикла с дросселированием и расширением газа в детандере при изменении температуры перед детандером T_3 , доли детандерного потока D и недорекуперации dT .

При оформлении отчета студенты выполняют поверочные расчеты для одного из режимов (заданного руководителем работы) в соответствии с предложенным ниже алгоритмом.

Выполнению расчетного анализа предшествует графическая обработка вариантных расчетов (приложение 2.3). В отчете в текстовой форме студент представляет проводимый им анализ и формулирует выводы. При этом он ориентируется на вопросы и задачи, поставленные руководителем.

Содержание отчета о работе

- 2.1 Принципиальная схема, ее описание, изображение в T-S диаграмме и расчеты цикла при использовании работы расширения газа для поджатия прямого потока;
- 2.2 Результаты вариантных расчетов;
- 2.3 Анализ и выводы.

Задачи и вопросы к проведению расчетного анализа

Проанализировать, как изменяются значения коэффициента сжижения x , удельного расхода энергии l_f и поверхности теплопередачи с изменением температуры перед детандером T_3 , доли детандерного потока D и недорекуперации dT . Объяснить характер кривых $x, l_f, F_s = f(T_3)$; $x, l_f, F_s = f(D)$; $x, l_f, F_s = f(dT)$. Дать рекомендации по выбору анализируемых переменных параметров.

Проанализировать влияние переменных параметров на изменение интегральной разности температур теплообменников, разности температур на холодном конце теплообменника T_2 . Оценить повышение эффективности цикла при полезном использовании работы расширения газа в детандере.

Варианты типовых исходных данных

№ п/п	P_2 , МПа	T_3 , К	η_s	№ п/п	P_2 , МПа	T_3 , К	η_s
1	4	215 (215/230/5)	0.75	13	4	215 (215/230/5)	0.80
2	4.5	215 (215/235/5)	0.75	14	4.5	215 (215/235/5)	0.80
3	5	220 (215/235/5)	0.75	15	5	220 (215/235/5)	0.80
4	6	220 (215/235/5)	0.75	16	6	220 (215/235/5)	0.80
5	7	225 (220/245/5)	0.75	17	7	225 (220/245/5)	0.80
6	8	230 (220/245/5)	0.75	18	8	230 (220/245/5)	0.80
7	9	235 (225/260/5)	0.75	19	9	235 (225/260/5)	0.80
8	10	240 (230/260/5)	0.75	20	10	240 (230/260/5)	0.80
9	12.5	250 (230/270/10)	0.75	21	12.5	250 (230/270/10)	0.80
10	15	250 (230/270/10)	0.75	22	15	250 (240/280/10)	0.80
11	17.5	260 (240/280/10)	0.75	23	17.5	260 (250/290/10)	0.80
12	19.5	260	0.75	24	19.5	260	0.80

		(240/280/10)				(250/290/10)	
--	--	--------------	--	--	--	--------------	--

Массив других переменных параметров:

$$D = 0.5/0.71/0.05;$$

$$dT = 6/16/2$$