Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 23.05.2024 11:58:43
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

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

Факультет химической технологии и биотехнологии

УТВЕРЖДАЮ
Декан
_____ /А.С. Соколов /
«13» февраля 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Криогенные расширительные машины»

Направление подготовки
16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

Профиль
Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

Квалификация
бакалавр

Форма обучения
очная

Москва, 2024 г.

Разработчик(и):

доцент, к.т.н. / А.Е. Ермолаев /

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Техника низких температур»,
к.т.н. / Д.А. Некрасов /

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине....4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы....4
3. Структура и содержание дисциплины....4
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость....4
3.2. Тематический план изучения дисциплины....6
3.3. Содержание дисциплины....7
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий....7
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)....7
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение....7
4.1. Нормативные документы и ГОСТы....7
4.2. Основная литература....7
4.3. Дополнительная литература....7
4.4. Электронные образовательные ресурсы....8
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение....8
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы....8
5. Материально-техническое обеспечение....8
6. Методические рекомендации....8
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения....8
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины....8
7. Фонд оценочных средств....9
7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения....9
7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения....9
7.3. Оценочные средства....9

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К основным целям освоения дисциплины «Криогенные расширительные машины» следует отнести следующие:

- изучение студентами основ расчета и конструирования криогенных машин: криогенных расширительных машин-детандеров, криогенных газовых машин, криогенных насосов, криогенных нагнетателей и компрессоров; получения практических навыков при испытании машин на лабораторных стендах.

К основным задачам освоения дисциплины «Криогенные расширительные машины» следует отнести:

- формирование базовых знаний о разработке криогенных расширительных машин;
- освоение студентами методик расчета и конструирования криогенных машин.

Обучение по дисциплине «Криогенные расширительные машины» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ПК-2. Способен определять требования к объектам проектирования и разрабатывать проектную документацию	- Умеет выбирать способы и алгоритмы оформления текстовой части проектной документации системы холодоснабжения, в том числе в специализированных программных средствах - Умеет выбирать способы и алгоритм разработки и оформления чертежей системы холодоснабжения - Умеет определять конструктивные особенности и метеорологические условия

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Криогенные расширительные машины» относится к числу факультативных учебных дисциплин и входит в образовательную программу подготовки бакалавров.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Криогенные расширительные машины» составляет 2 зачетных(е) единиц(ы) (72 часов).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

3.1.1. Очная форма обучения

Дисциплина «Криогенные расширительные машины»

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры	
			4	
1	**Аудиторные занятия**	**36**	**36**	
	В том числе:			
1.1	Лекции	24	24	
1.2	Семинарские/практические занятия	12	12	
1.3	Лабораторные занятия			
2	**Самостоятельная работа**	**36**	**36**	
	В том числе:			

2.1	Подготовка к семинарам	36	36	
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет/диф.зачет/экзамен	**зачет**	**зачет**	
	Итого	**72**	72	

3.2 Тематический план изучения дисциплины

(по формам обучения)

3.2.1. Очная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час				
		Всего	**Аудиторная работа**			**Самостоятельная работа**
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	
1	Введение	10	2	2		6
2	Основы теории и расчета турбодетандеров. Конструирование турбодетандеров	24	10	4		10
3	Основы теории и расчета поршневых детандеров	20	6	4		10
4	Конструирование поршневых детандеров	18	6	2		10
	Итого	**72**	**24**	**12**		**36**

3.3 Содержание дисциплины

Тема 1. Введение

Цель и задачи изучаемой дисциплины. Литература. Понятие расширительной машины - детандера. Процесс детандирования в тепловых диаграммах. Детандеры турбинного и объемного действия. Применение детандеров в криогенных системах и установках. Особенности конструктивного исполнения современных криогенных детандеров.

Тема 2. Основы теории и расчета турбодетандеров. Конструирование турбодетандеров

Устройство и принцип действия турбодетандера. Классификация турбодетандеров по параметрам рабочего газа и способу торможения.

Устройство и рабочий процесс в ступени турбодетандера:

Элементы ступени. Входные устройства. Направляющие аппараты. Рабочие колеса. Выходные устройства. Переднее и заднее уплотнения. Рабочий процесс в элементах ступени и в I - S диаграмме. Располагаемые перепады энтальпий. Составляющие гидравлических потерь. Внутренние и внешние потери мощности. Гидравлический и изоэнтропический КПД. Холодопроизводительность ступени.

Энергетические уравнения ступени:

Уравнение сохранения энергии для ступени в целом. Уравнение сохранения энергии для направляющего аппарата и рабочего колеса. Параметры треугольников скоростей. Уравнение Эйлера. Уравнение энергобаланса ступени. Коэффициенты окружной скорости.

Режимные и геометрические параметры направляющего аппарата:

Скорость в горловине сопел. Докритические, критические и закритические ступени. Коэффициенты абсолютной скорости. Коэффициент расхода. Угол потока за направляющим аппаратом. Приведенная горловины направляющего аппарата.

Зависимость диаметра и частоты вращения рабочего колеса от приведенной горловины направляющего аппарата. Типы направляющих аппаратов. Число сопел, размер горловины, ширина направляющего аппарата. Профилирование канального и лопаточного направляющего аппарата.

Потери и КПД ступени турбодетандера:

Гидравлический КПД ступени. Раскрытие составляющх гидравлических потерь. Угол выхода абсолютного потока. Изоэнтропный КПД ступени. Раскрытие составляющих потерь мощности. Расчетные уравнения потерь перетечек и дисковых потерь. Объемный КПД ступени.

Дросселирование на входе, дросселирование на выходе. Изменение степени парциональности. Поворот лопаток направляющего аппарата. Изменение частоты вращения.

Конструктивные схемы криогенных турбодетандеров. Типы сопловых аппаратов и рабочих колес. Отбор мощности. Системы смазки и защиты. Газовые опоры. Турбодетандерный агрегат. Расчет диска рабочего колеса турбодетандера на прочность. Расчет вала на критическое число оборотов.

Тема 3. Основы теории и расчета поршневых детандеров (ПД)

Устройство и принцип действия поршневого детандера. Классификация ПД. Баланс энергии в ПД. Изоэнтропный КПД. Циклы ПД.

Алгоритм определения термодинамических параметров в узловых точках индикаторной диаграммы. Потери, связанные с необратимостью отдельных процессов индикаторной диаграммы (смешения, дросселирования и выхлопа).

Тема 4. Конструирование поршневых детандеров

Классификация конструктивных схем поршневых детандеров. Конструкции поршневых детандеров криогенных установок. Газораспределение в детандерах. Конструкции клапанов. Конструктивные материалы, применяемые для основных деталей поршневых детандеров. Поршневые уплотнения.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

1. Введение
2. Основы теории и расчета турбодетандеров. Конструирование турбодетандеров
3. Основы теории и расчета поршневых детандеров
4. Конструирование поршневых детандеров

3.4.2. Лабораторные занятия

Не предусмотрены.

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Не предусмотрены.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 24393-80 Техника холодильная. Термины и определения (с Изменением N 1). - Энергетика. Термины и определения: Сб. стандартов. - М.: Стандартинформ, 2005.

4.2 Основная литература

1. Короткий, И. А. Теория и расчет криогенных систем : учебное пособие / И. А. Короткий. — Кемерово : КемГУ, 2022. — 166 с. — ISBN 978-5-8353-2918-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/290588 (дата обращения: 27.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4.3 Дополнительная литература

1. Петрухин, В. В. Оборудование для добычи газа. Конспект лекций : учебное пособие / В. В. Петрухин, С. В. Петрухин, А. А. Пазяк. — Тюмень : ТИУ, 2022. — 157 с. — ISBN 978-5-9961-2974-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/364148 (дата обращения: 27.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4.4 Электронные образовательные ресурсы

Не предусмотрены.

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Не предусмотрено.

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Консультант Плюс
URL: https://www.consultant.ru/
2. Информационная сеть «Техэксперт»
URL: https://cntd.ru/

5. Материально-техническое обеспечение

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.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

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 – практическая. Преподаватель должен 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.

В процессе обучения студентов используются различные виды учебных занятий (аудиторных и внеаудиторных): семинарские занятия, 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.

Цель практических 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 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.

Оценка выставляется преподавателем и объявляется после ответа.

Преподаватель, принимающий зачёт или экзамен, лично несет ответственность за правильность выставления оценки.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Работа студента направлена на:

- изучение теоретического материала, подготовка к практическим занятиям и выполнение практических работ.
- подготовка и выполнение тестирования 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.

Не следует откладывать работу также из-за нерабочего настроения или отсутствия вдохновения. Настроение нужно создавать самому. Понимание необходимости выполнения работы, знание цели, осмысление перспективы благоприятно влияют на настроение.

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.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

До даты проведения промежуточной аттестации студент должен выполнить все работы, предусмотренные настоящей рабочей программой дисциплины. Перечень обязательных работ и форма отчетности представлены в таблице.

Перечень обязательных работ, выполняемых в течение семестра по дисциплине «Криогенные расширительные машины»

Вид работы	Форма отчетности и текущего контроля
Тестирование	Оценка преподавателя «зачтено», если результат тестирования по шкале (приложение Б) составляет более 41 %.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

7.2.1. Шкала оценивания тестирования

Результат тестирования оценивается по процентной шкале оценки.

Оценка	Количество правильных ответов
отлично	от 81% до 100%
хорошо	от 61% до 80%
удовлетворительно	от 41% до 60%
неудовлетворительно	40% и менее правильных ответов

7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

Темы для устных опросов

1. Понятие расширительной машины - детандера.
2. Процесс детандирования в тепловых диаграммах.
3. Детандеры турбинного и объемного действия.
4. Применение детандеров в криогенных системах и установках.
5. Особенности конструктивного исполнения современных криогенных детандеров.
6. Устройство и принцип действия турбодетандера. Классификация турбодетандеров по параметрам рабочего газа и способу торможения.
7. Устройство и рабочий процесс в ступени турбодетандера:
8. Элементы ступени. Входные устройства. Направляющие аппараты.
9. Рабочие колеса. Выходные устройства. Переднее и заднее уплотнения.
10. Рабочий процесс в элементах ступени и в I - S диаграмме.
11. Располагаемые перепады энтальпий. Составляющие гидравлических потерь. Внутренние и внешние потери мощности.
12. Гидравлический и изоэнтропический КПД. Холодопроизводительность ступени.
13. Энергетические уравнения ступени. Уравнение сохранения энергии для ступени в целом.
14. Уравнение сохранения энергии для направляющего аппарата и рабочего колеса. Параметры треугольников скоростей.
15. Уравнение Эйлера. Уравнение энергобаланса ступени.
16. Коэффициенты окружной скорости.
17. Режимные и геометрические параметры направляющего аппарата:
18. Скорость в горловине сопел.
19. Докритические, критические и закритические ступени. Коэффициенты абсолютной скорости. Коэффициент расхода.
20. Угол потока за направляющим аппаратом.
21. Зависимость диаметра и частоты вращения рабочего колеса от приведенной горловины направляющего аппарата.

7.3.1.2. Пример тестовых заданий:

Пример тестового задания

1. Долговечность детандера — это

~регламентируемое число отказов детандера до капитального ремонта для ремонтируемых детандеров

=регламентируемое число часов работы детандера до капитального ремонта для ремонтируемых компрессоров

~регламентируемое число включений детандера до капитального ремонта для ремонтируемых компрессоров

~регламентируемое число часов работы детандера до первого отказа

2. Три вида расчетных условий
~%33.333%силовой режим
~%33.333%режим максимальной мощности
~%33.333%режим пробных давлений
~режим нагнетания

3. Коренные валы — это
~%50%коленчатые валы
~%50%эксцентриковые валы
~ступенчатые валы
~приводные валы

7.3.2. Промежуточная аттестация

7.3.2.1. Вопросы к зачету по модулю «Криогенные расширительные машины»:

1. Понятие расширительной машины - детандера.
2. Процесс детандирования в тепловых диаграммах.
3. Детандеры турбинного и объемного действия.
4. Применение детандеров в криогенных системах и установках.
5. Особенности конструктивного исполнения современных криогенных детандеров.
6. Устройство и принцип действия турбодетандера. Классификация турбодетандеров по параметрам рабочего газа и способу торможения.
7. Устройство и рабочий процесс в ступени турбодетандера:
8. Элементы ступени. Входные устройства. Направляющие аппараты.
9. Рабочие колеса. Выходные устройства. Переднее и заднее уплотнения.
10. Рабочий процесс в элементах ступени и в I - S диаграмме.
11. Располагаемые перепады энтальпий. Составляющие гидравлических потерь. Внутренние и внешние потери мощности.
12. Гидравлический и изоэнтропический КПД. Холодопроизводительность ступени.
13. Энергетические уравнения ступени. Уравнение сохранения энергии для ступени в целом.
14. Уравнение сохранения энергии для направляющего аппарата и рабочего колеса. Параметры треугольников скоростей.
15. Уравнение Эйлера. Уравнение энергобаланса ступени.
16. Коэффициенты окружной скорости.
17. Режимные и геометрические параметры направляющего аппарата:
18. Скорость в горловине сопел.
19. Докритические, критические и закритические ступени. Коэффициенты абсолютной скорости. Коэффициент расхода.
20. Угол потока за направляющим аппаратом.
21. Зависимость диаметра и частоты вращения рабочего колеса от приведенной горловины направляющего аппарата.
22. Типы направляющих аппаратов.

23. Число сопел, размер горловины, ширина направляющего аппарата.
24. Потери и КПД ступени турбодетандера:
25. Гидравлический КПД ступени. Раскрытие составляющх гидравлических потерь.
26. Изоэнтропный КПД ступени. Раскрытие составляющих потерь мощности.
27. Объемный КПД ступени.
28. Дросселирование на входе, дросселирование на выходе.
29. Изменение степени парциональности.
30. Поворот лопаток направляющего аппарата.
31. Изменение частоты вращения.
32. Конструктивные схемы криогенных турбодетандеров.
33. Типы сопловых аппаратов и рабочих колес. Отбор мощности.
34. Системы смазки и защиты. Газовые опоры. Турбодетандерный агрегат.
35. Расчет диска рабочего колеса турбодетандера на прочность. Расчет вала на критическое число оборотов.
36. Устройство и принцип действия поршневого детандера.
37. Классификация поршневого детандера.
38. Баланс энергии в поршневого детандера.
39. Изоэнтропный КПД поршневого детандера.
40. Циклы поршневого детандера.
41. Алгоритм определения термодинамических параметров в узловых точках индикаторной диаграммы.
42. Потери, связанные с необратимостью отдельных процессов индикаторной диаграммы (смешения, дросселирования и выхлопа).
43. Классификация конструктивных схем поршневых детандеров.
44. Конструкции поршневых детандеров криогенных установок.
45. Газораспределение в детандерах.
46. Конструкции клапанов.
47. онструктивные материалы, применяемые для основных деталей поршневых детандеров.
48. Поршневые уплотнения.

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Компрессорные машины».

Шкала оценивания	**Описание**
Отлично	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.
Хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное, правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо если при этом были допущены 2-3 несущественные ошибки.

Удовлетвори-тельно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.
Неудовлетвори-тельно	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.
Зачтено	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.
Не зачтено	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.