

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:  
8db180d1a3f0b2c9e60521a5672742735c18b1d6

**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**

**«Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники»**

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 «Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники» следует отнести:

- освоение студентами современных методов расчета, конструирования и технологии изготовления аппаратов холодильных и криогенных установок;
- формирует профессиональную подготовку студентов по направлению.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники» следует отнести:

- освоение методологии, анализа и выбора принципов и методов расчета и проектирования тепло-массообменных аппаратов техники низких температур, освоение методов и условий проведения подбора аппаратов, определение номенклатуры рассчитываемых параметров, порядка определения и обработки полученной информации при расчете и проектировании.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники» относится к дисциплинам по выбору ООП бакалавриата. Дисциплина направлена на изучение законов термодинамики применительно к низкотемпературным процессам и циклам, приобретение навыков термодинамического анализа способов охлаждения, выбора рабочих веществ, а также расчета основных аппаратов низкотемпературной техники.

Данная дисциплина является теоретической базой для большинства дисциплин направления 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения.

Дисциплина «Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники» относится к числу профессиональных учебных дисциплин вариативной части базового цикла (Б1) основной образовательной программы бакалавриата.

«Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- Холодильные установки;
- Автоматизация низкотемпературной техники.
- Тепломассообмен

### 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-9	готовностью выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• номенклатуру базовых элементов теплообменных аппаратов и их характеристики;</li> <li>• виды и методы расчета тепло-массообменных аппаратов и их элементов;</li> <li>• особенности конструкции аппаратов низкотемпературной техники, материалы, которые используются при изготовлении аппаратов, процессы, протекающие в этих аппаратах, и современные методы их расчета</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• выбрать вид и тип базовых элементов, рабочего вещества и теплоносителей ХС;</li> <li>• определять основные характеристики базовых элементов;</li> <li>• выбрать и рассчитать оптимальную конструкцию аппаратов</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• современными, в том числе компьютерными, методиками расчета, проектирования, конструирования тепло-массообменных аппаратов</li> <li>• методами проектирования машин и аппаратов</li> </ul>

### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зач. единиц (216 академических часов, из них 108 часов самостоятельной работы).

Структура и содержание дисциплины «Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники» по срокам и видам работы изложены в приложении 1.

5 семестр: лекции –72 часа, практические и семинарские занятия – 18 часов, лабораторные занятия – 18 часов, форма контроля – экзамен.

### **Содержание разделов дисциплины**

#### **1. Общие сведения**

Виды расчетов аппаратов холодильных машин. Теплообмен в условиях выпадения влаги на охлаждаемых поверхностях. Оребрение. Влаговыпадение на плоской стенке. Влаговыпадение на оребренной поверхности.

2. Теплообмен в условиях инееобразования на охлаждаемой поверхности стенки

Виды низкотемпературного оборудования, работающего в условиях криосадка из водного инея. Характеристики тепло- и массообмена при формировании инея криосадка.

#### **3. Расчёт испарителей с внутриканальным кипением хладагентов.**

Расчёт кожухотрубных испарителей с внутриканальным кипением. Конструктивные особенности и расчет испарителей с внутриканальным кипением хладагентов в условиях инееобразования на рабочих поверхностях. Конструктивные особенности и расчёт поверхностных сухих воздухоохладителей.

4. Пластинчатые и пластинчато-ребристые испарители холодильных машин.

Особенности теплообмена в каналах с оребренной поверхностью, КПД ребра и оребренной поверхности. Конструкция многопоточных теплообменников, материалы и технология их изготовления. Распределительные устройства. Гидравлическое сопротивление. Теплообмен в многопоточных теплообменниках. Основы конструктивного и гидравлического расчета пластинчато-ребристых теплообменников. Пример теплового и конструктивного расчета пластинчато-ребристого испарителя. Расчет испарителя. Тепловой конструктивный расчет горизонтального кожухотрубного водяного конденсатора. Гидромеханический расчет.

5. Описание процесса охлаждения воды в безнасадочной вакуумной градирне.

### **Лабораторный практикум**

№ п/п	№ раздела	Наименование лабораторной работы	Объем в часах
1	4	Исследование теплоотдачи в пластинчато-ребристом теплообменнике	10

2	4	Изучение конструкции трубчато-пластинчатого теплообменника	8
---	---	--	---

## **5. Образовательные технологии.**

Методика преподавания дисциплины «тепло-массообменные аппараты низкотемпературной техники» и реализация компетентного 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:

- обсуждение и защита рефератов по дисциплине;
- выполнение и защита лабораторных работ;
- проведение мастер-классов экспертов и специалистов по методам расчета и проектирования аппаратов холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «тепло-массообменные аппараты низкотемпературной техники» и в целом по дисциплине составляет 30% аудиторных занятий. Занятия лекционного типа составляют 60% от объема аудиторных занятий.

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

Текущий контроль успеваемости и промежуточной аттестации проводится по следующим критериям:

- выполнение и защита лабораторных работ

При выполнении задания для самостоятельной работы студент должен закрепить теоретические знания и приобрести навыки в инженерных расчетах. При этом необходимо использовать современные источники информации: учебники, монографии, журналы и др. и также современные методики расчета. В качестве самостоятельной работы предлагается домашнее задание по аппаратам криогенных установок.

Домашнее задание, его характеристика

Основным содержанием домашнего задания является проработка конструкций тепло-массообменных аппаратов криогенных установок и их расчет.

При выполнении домашнего задания студент должен показать свое умение оценить техническое состояние оборудования, проанализировать условия его работы, а также оптимизировать технологические и конструктивные параметры. При этом необходимо использовать пакет прикладных программ для расчета на ЭВМ. Домашнее задание представляется в виде записки, включающей текстовую и расчетную части, а также рисунки, графики и чертежи.

- защита выполненных лабораторных работ.

Образцы контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, экзаменационных билетов, 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:

<b>Код компетенции</b>	<b>В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать</b>
ПК-9	готовностью выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов

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-9** - готовностью выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов

Показатель	Критерии оценивания			
	2	3	4	5
<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>номенклатуру базовых элементов теплообменных аппаратов и их характеристик и;</li> <li>виды и методы расчета тепло-массообменных аппаратов и их элементов</li> </ul>	<p>Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующим знаниям: Видов и методов расчета тепло-массообменных аппаратов и их элементов</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: Видов и методов расчета тепло-массообменных аппаратов и их элементов. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующим знаниям: Видов и методов расчета тепло-массообменных аппаратов и их элементов, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующим знаниям: Видов и методов расчета тепло-массообменных аппаратов и их элементов, свободно оперирует приобретенными знаниями.</p>
<p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>выбрать вид и тип базовых элементов, рабочего вещества и теплоносителя ХС;</li> <li>определять основные характеристики и базовых элементов;</li> </ul>	<p>Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет определять основные характеристики базовых элементов тепло-массообменного оборудования</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующим умениям: определять основные характеристики базовых элементов тепло-массообменного оборудования. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующим умениям: определять основные характеристики базовых элементов тепло-массообменного оборудования. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующим умениям: определять основные характеристики и базовых элементов тепло-массообменного оборудования. Свободно оперирует приобретенным и умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.</p>
<p><b>владеть:</b></p>	<p>Обучающийся не владеет</p>	<p>Обучающийся владеет</p>	<p>Обучающийся частично владеет</p>	<p>Обучающийся владеет</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>современными, в том числе компьютерными, методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания тепло-массообменных аппаратов</li> </ul>	владеет или в недостаточной степени владеет методами и методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания тепло-массообменных аппаратов	методами и методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания тепло-массообменных аппаратов в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	владеет методами и методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания тепло-массообменных аппаратов, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	в полном объеме владеет методами и методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания тепло-массообменных аппаратов, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
---	---	--	---	---

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

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 «Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники»*

<b>Шкала оценивания</b>	<b>Описание</b>
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.
Удовлетворительно	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.
Неудовлетворительно	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.

**Фонды оценочных средств представлены в приложении 2 к рабочей программе.**

### **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение**

*а) основная литература:*

1. Калиниченко, М. Ю. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение зданий : учебное пособие / М. Ю. Калиниченко. — Ставрополь : СКФУ, 2017. — 136 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/155110> (дата обращения: 12.09.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

*б) дополнительная литература:*

1. ГОСТ 26963-86 Кондиционеры бытовые автономные. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2) [Электронный ресурс] - Введ. 1988-01-01. — Электрон. дан. — М.: Издательство стандартов, 1986. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200013296/> — Загл. с экрана.
2. Приданцев, А. С. Теплообменные аппараты холодильных установок : учебно-методическое пособие / А. С. Приданцев, Д. Д. Ахметлатыпова, В. В. Акшинская. — Казань : КНИТУ, 2017. — 120 с. — ISBN 978-5-7882-

2247-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/138369> (дата обращения: 14.09.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

В специализированной лаборатории кафедры «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы для изучения и проведения лабораторных работ имеются:

- образцы холодильных систем;
- действующие парокompрессионные системы с необходимыми средствами измерения;
- класс для изучения узлов и деталей холодильных систем.
- консультационно-вычислительный класс для самостоятельной работы, оснащенный компьютерами с соответствующим расчетным и графическим программным обеспечением.

## **9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа является одной из существенных частей учебного процесса и предполагает помощь в планировании и контроль со стороны преподавателей.

Самостоятельная работа студентов представляет собой важнейшее звено учебного процесса, без правильной организации которого обучающийся не может быть высококвалифицированным выпускником. Необходимо обеспечить правильное соотношение воспроизводящей и творческой деятельности студентов.

Ключевую роль в самостоятельной работе является постановка целей , которые будут представлять образ положительных последствий выполнения поставленных задач.

## **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.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки бакалавров **16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения**, профиль подготовки «Холодильная техника и технологии».

**Программу составил:**

доцент кафедры «Техника низких температур», к.т.н.  
/А.Е. Ермолаев/



**Программа утверждена на заседании кафедры «Техника низких температур» «\_17\_» \_\_\_\_06\_\_\_\_ 2020 г., протокол № \_\_95\_\_**

Заведующий кафедрой, к.т.н.



/С.В. Белуков/

## 9. Приложения

Приложение №1

Структура и содержание дисциплины «Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники»

Направление подготовки: **16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения**

Профиль подготовки: Холодильная техника и технологии.

Раздел	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость в часах					Виды самостоятельной работы студентов					Формы аттестации	
			Л	П/С	Лаб.	СРС	КСР	КР	КП	РГР	Реф.	К/Р	Э	З
1. Общие сведения	7	1-2	6	2	2									
2. Теплообмен в условиях инееобразования на охлаждаемой поверхности стенки	7	3-7	12	4										
3. Расчёт испарителей с внутриканальным кипением хладагентов.	7	8-12	18	6										
4. Пластинчатые и пластинчато-ребристые испарители холодильных машин.	7	12-14	18	2	18									
5. Описание процесса охлаждения воды в безнасадочной вакуумной градирне.	7	15-16	18	2										
Итого	7	18	72	18	18	108							+	

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. Исследователь»

Форма обучения: очная

Вид профессиональной деятельности: (В соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра: ТНТ им. П. Л. Капицы

## **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

### **ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

#### **Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники**

Состав: 1. Паспорт фонда оценочных средств

2. Описание оценочных средств:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Составитель:**

**Маринюк Б.Т.**

## ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Тепло-массообменные аппараты низкотемпературной техники					
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 компетен	Форма оценочного средства**	Степени уровней освоения компетенций
ИН-ДЕКС	ФОРМУЛИРОВАКА				
ПК-9	готовностью выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>номенклатуру базовых элементов теплообменных аппаратов и их характеристики;</li> <li>виды и методы расчета тепло-массообменных аппаратов и их элементов;</li> <li>особенности конструкции аппаратов низкотемпературной техники, материалы, которые используются при изготовлении аппаратов, процессы, протекающие в этих аппаратах, и современные методы их расчета</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>выбрать вид и тип базовых элементов, рабочего вещества и теплоносителей ХС;</li> <li>определять основные</li> </ul>	лекция, самостоятельная работа, семинарские занятия	ДС УО	<p><b>Базовый уровень</b></p> <p>- способен проектировать тепло-массообменные аппараты и их элементы при помощи основных видов и методов расчета</p> <p><b>Повышенный уровень</b></p> <p>- способен проектировать тепло-массообменные аппараты и их элементы и их элементы при помощи основных видов и методов расчета, выполнять их оптимизацию с учетом установленных требований</p>

		<p>характеристики базовых элементов;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• выбрать и рассчитать оптимальную конструкцию аппаратов для ожигательных и рефрижераторных установок</li></ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• современными, в том числе компьютерными, методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания тепло-массообменных аппаратов</li><li>• методами проектирования машин и аппаратов</li></ul>			
--	--	---	--	--	--

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



**Перечень оценочных средств по дисциплине: Тепло-массообменные аппараты  
низкотемпературной техники**

№ ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в ФОС
1	Доклад, сообщение (ДС)	Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы	Темы докладов, сообщений
2	Устный опрос, собеседование, (УО)	Средство контроля, организованное как специальная беседа педагогического работника с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам/разделам дисциплины

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

(наименование кафедры)

<b>ПК-9 - готовность выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов</b>				
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	Недифференцированный зачет		
		Критерии оценивания		
		не зачтено	зачтено	
Обучающийся способен проектировать тепло-массообменные аппараты и их элементы при помощи основных видов и методов расчета, выполнять их оптимизацию с учетом установленных требований	1 – 7	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 приобретенным и знаниями.

## Вопросы к экзамену

по дисциплине: теплообменные аппараты низкотемпературной техники

Вопросы для проверки уровня обученности ЗНАТЬ:

1. Орбрение, классификация, эффективность прямого ребра. Система ребер, приведенный коэффициент теплоотдачи от воздуха к ребру.
2. Конструктивные особенности пластинчатых и пластинчато – ребристых теплообменных и пластинчато – ребристых теплообменников, достоинства и недостатки обоих видов аппаратов.
3. Испарители с малой заправкой по хладагенту, типы конструктивные особенности.
4. Классификация аппаратов холодильных машин, принципы классификации. Виды расчетов аппаратов холодильных машин, их характеристики.

Вопросы (задачи/задания) для проверки уровня обученности УМЕТЬ:

1. Расчет теплообмена оребренной стенки в условиях образования инея и льда на поверхности ребер.
2. Конструктивные особенности, тепловой и конструктивный расчеты кожухотрубного испарителя с кипением фреона в межтрубном пространстве.
3. Конструктивные особенности тепловой и конструктивный расчеты панельного погружного холодоаккумулятора водного льда.
4. Конструктивные особенности, тепловой и конструктивный расчеты кожухотрубного фреонового конденсатора.
5. Классификация воздухоохладителей, конструктивные особенности и тепловой расчет поверхностного сухого воздухоохладителя.
6. Классификация конденсаторов воздушного охлаждения крупных аммиачных холодильных установок, особенности конструктивного исполнения и принципы расчета.
7. Теоретические основы процесса внутритрубного кипения фреонов. Гидромеханический расчет испарителей с внутритрубным кипением.

Вопросы (задачи/задания) для проверки уровня обученности ВЛАДЕТЬ:

1. Конструктивные особенности испарительного конденсатора. Изображение процесса в  $i - d$  диаграмме.
2. Элементы и узлы кожухотрубных аппаратов, трубные пучки и решётки, крышки. Эскизы конструкций присоединения крышки к трубной решетке. Тесные пучки труб.
3. Способы интенсификации теплообмена в кожухотрубных конденсаторах и испарителях холодильных машин (привести эскизы конструктивных решений)
4. Конструктивные особенности конденсаторов воздушного охлаждения установок малой и средней производительности. Уравнение теплового потока для КВО на фреонах.
5. Определить число ходов по воде в кожухотрубном конденсаторе, который содержит 455 штук трубок  $\varnothing 25 \times 2$ , тепловая нагрузка аппарата 670 кВт, подогрев воды  $\Delta t_w = 5^\circ\text{C}$ . Скорость протекания воды в трубках  $w = 4,7$  м/с.
6. Найти термическое сопротивление слоя инея, образованного на плоской стенке, температура поверхности которой составляет  $-17^\circ\text{C}$ , стенка обращена в среду влажного воздуха с влагосодержанием  $d = 4,7$  г/кг, температура воздуха  $\Delta t_w = 1^\circ\text{C}$ . Температура поверхности слоя инея принять  $t_{\text{нос}}^{\text{ин}} = 0^\circ\text{C}$ .
7. Определить коэффициент теплопроводности водного льда, средняя температура которого составляет  $-25^\circ\text{C}$ .
8. Определить коэффициент теплоотдачи при внутритрубном кипении фреона R22, температура кипения  $t_0 = -17^\circ\text{C}$ ; массовый расход хладагента  $M = 140 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}}$ ; эквивалентный диаметр канала  $d_{\text{Э}} = 3,2$  мм. Кипение конвективное, значение  $K = 0,137$ , условие полного выкипания с выводом.

## Основные вопросы

### Вопросы общие

1. Оребрение.
2. Коэффициент оребрения.
3. Типы ребер. Варианты их исполнения и крепления.
4. Виды расчетов аппаратов и что в них определяется.
5. Основные параметры классификации аппаратов.
6. Основные типы аппаратов.
7. Вспомогательные типы аппаратов.
8. Фанкойл.
9. Чиллер.
10. Виды гидросопротивлений в аппаратах (3 вида).
11. Градирня.
12. Ресиверы.
13. Маслоотделители.
14. Увлажнители (оросительные, паровые).
15. Отделители жидкости.
16. Конструкции теплообменных пучков.
17. Регенеративные теплообменники, их типы и функции, для каких мощностей.
18. Промежуточные сосуды, функции.
19. Змеевиковые и беззмеевиковые промежуточные сосуды, достоинства и недостатки.
20. Пути интенсификации теплообмена в аппаратах различных типов.
21. Основные хладагенты.
22. Основные типы хладоносителей.
23. Многоходовость в аппаратах.

### Вопросы по испарителям

24. Воздухоохладитель.
25. Батарея.
26. Панельный испаритель.
27. Кожухотрубный испаритель с межтрубным кипением.
28. Кожухотрубный испаритель с внутритрубным кипением.
29. Пластинчатый испаритель.
30. Пластинчато-ребристый испаритель.
31. Панельный испаритель и холодоаккумулятор.
32. Материалы для изготовления испарителей.
33. Режимы кипения.
34. Режимы кипения в каналах.
35. Холодоаккумуляция, зачем это нужно.

В каждом типе знать устройство аппарата, основные элементы, достоинства и недостатки.

#### Вопросы по конденсаторам

36. Конденсатор воздушного охлаждения.
37. Кожухотрубный конденсатор.
38. Вертикальнотрубный конденсатор.
39. Испарительный конденсатор.
40. Элементный конденсатор.
41. Оросительный конденсатор.
42. Режимы конденсации.

В каждом типе знать устройство аппарата, основные элементы, достоинства и недостатки.

#### Задачи

43. Определить все параметры воздуха по двум известным.
44. Определить температуру точки росы.
45. Определить температуру точки мокрого термометра.
46. Определить нагрузку на аппарат по  $i-d$  диаграмме и расходу.
47. Определить среднюю температуру хладоносителя.
48. Определить среднюю температуру теплоносителя.
49. Определить параметры смеси воздуха с разными параметрами.
50. Построить линию процесса обработки воздуха в  $i-d$  диаграмме.

## Форма экзаменационного билета

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

---

Институт \_\_\_\_\_ Кафедра ТНТ им. П. Л. Капицы  
*полное наименование института* *сокращенное наименование кафедры*  
Дисциплина Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники  
Направление подготовки (специальность) 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения  
Курс \_\_\_\_\_, семестр \_\_\_\_\_

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № \_\_.

1. Теоретические основы процесса внутритрубного кипения фреонов. Гидромеханический расчет испарителей с внутритрубным кипением.
2. Классификация аппаратов холодильных машин, принципы классификации. Виды расчетов аппаратов холодильных машин, их характеристики.
3. Найти термическое сопротивление слоя инея, образованного на плоской стенке, температура поверхности которой составляет  $-17^{\circ}\text{C}$ , стенка обращена в среду влажного воздуха с влагосодержанием  $d=4,7$  г/кг, температура воздуха  $\Delta t_{\text{в}}=1^{\circ}\text{C}$ . Температура поверхности слоя инея принять  $t_{\text{нов}}^{\text{ин}}=0^{\circ}\text{C}$ .

Утверждено на заседании кафедры «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г., протокол № \_\_.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
*подпись* *расшифровка*

---

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

(наименование кафедры)

<b>ПК-9 - готовность выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов</b>				
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	Недифференцированный зачет		
		Критерии оценивания		
		не зачтено	зачтено	
Обучающийся способен проектировать тепло-массообменные аппараты и их элементы при помощи основных видов и методов расчета, выполнять их оптимизацию с учетом установленных требований	1 – 7	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 приобретенным и знаниями.

## Темы рефератов, докладов, сообщений

по дисциплине теплообменные аппараты низкотемпературной техники

(наименование дисциплины)

1. Принципиальные конструктивные схемы рекуперативных криогенных теплообменников. Виды теплообменных поверхностей. Конструктивные особенности.
2. Особенности теплообмена при криогенных температурах. Изменение свойств криоагентов.
3. Основное уравнение теплопередачи. Средняя разность температур. Определение коэффициента теплопередачи.
4. Пояснить влияние числа трубок при  $Z=\text{const}$  в витом теплообменном аппарате на изменение коэффициента теплоотдачи по прямому и обратному потоку.
5. Пояснить влияние числа трубок при  $Z=\text{const}$  в витом теплообменном аппарате на изменение линейной скорости и сопротивления по прямому и обратному потоку.

6. Пояснить влияние числа трубок при  $Z=\text{const}$  в витом теплообменном аппарате на изменение основных параметров теплообменника: наружного диаметра и высоты намотки.
7. Обзор по современным конструкциям испарительных конденсаторов ( по материалам журнала “Холодильная техника”).
8. Обзор по пластинчатым теплообменным аппаратам.
9. Обзор по методам интенсификации теплообмена в конденсаторах воздушного охлаждения.
10. Обзор по интенсификации теплообмена при охлаждении жидких хладоносителей.
11. Принципы безопасности на аммиачных холодильных установках средней и большой производительности



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

(наименование кафедры)

<b>ПК-9 - готовность выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов</b>				
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	Недифференцированный зачет		
		Критерии оценивания		
		не зачтено	зачтено	
Обучающийся способен проектировать тепло-массообменные аппараты и их элементы при помощи основных видов и методов расчета, выполнять их оптимизацию с учетом установленных требований	1 – 7	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 приобретенным и знаниями.

## Темы индивидуальных заданий

по дисциплине теплообменные аппараты низкотемпературной техники  
(наименование дисциплины)

- Горизонтальный водяной кожухотрубный конденсатор на агенте NH<sub>3</sub> температуре воды на входе  $t_{w1}=23^{\circ}\text{C}$ .
- Спроектировать испаритель с внутритрубным кипением на исходные данные:  $Q_0=250$  кВт холодильный агент R134a, температура воды на выходе из аппарата  $t_{s2}=5^{\circ}\text{C}$ .
- Спроектировать воздухоохладитель  $Q_0=100$  кВт на холодильном агенте R407a, температура воздуха в камере  $0^{\circ}\text{C}$ , температура воздуха на входе  $t_{b1}=20^{\circ}\text{C}$ ;  $\varphi_1=89\%$ , температура воздуха на выходе из батареи  $t_{b1}=10^{\circ}\text{C}$ ;  $\varphi_2=97\%$ .
- Спроектировать горизонтальный кожухотрубный конденсатор на R22, с тепловой нагрузкой  $Q=315$  кВт, температура воды на входе в аппарат  $t_{w1}=21^{\circ}\text{C}$ .

6. Спроектировать аммиачный горизонтальный кожухотрубный испаритель с тепловой нагрузкой  $Q=170$  кВт, температура хладонносителя на выходе  $t_{s1} = -17^\circ\text{C}$ . Хладонноситель – водный раствор спирта с температурной замерзания  $t_s = -25^\circ\text{C}$ .
7. Спроектировать воздухоохладитель с тепловой нагрузкой  $Q_0=25$  кВт, температура воздуха в камере  $0^\circ\text{C}$ , температура кипения хладагента R22 – 10%,  $t_{в1} = -8^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_{в1}=96\%$ ;  $t_{в2} = -13^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_{в2}=99,2\%$ .
8. Спроектировать горизонтальный кожухотрубный водяной конденсатор на агенте  $\text{NH}_3$  при температуре воды на входе в аппарат из градирни  $t_{w1}=24^\circ\text{C}$ .

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

(наименование кафедры)

<b>ПК-9 - готовность выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов</b>				
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	<b>Недифференцированный зачет</b>		
		Критерии оценивания		
		<b>не зачтено</b>	<b>зачтено</b>	
Обучающийся способен проектировать тепло-массообменные аппараты и их элементы при помощи основных видов и методов расчета, выполнять их оптимизацию с учетом установленных требований	1 – 7	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 приобретенным и знаниями.

## Лабораторные работы

по дисциплине тепло-массообменные аппараты низкотемпературной техники

(наименование дисциплины)

### 1. Тематика лабораторных работ по разделам и темам

№ п/п	№ раздела	Наименование лабораторной работы	Объем часов
1	4	Исследование теплоотдачи в пластинчато-ребристом теплообменнике	10
2	4	Изучение конструкции трубчато-пластинчатого теплообменника	8

### 2. Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ

1. Маринюк Б. Т. Расчеты теплообмена в аппаратах и системах низкотемпературной техники [Текст] / Б.Т. Маринюк.– М.: Машиностроение, 2015.- 271 с.

2. Установки, машины и аппараты криогенной техники, под ред. Усюкина И.П., М.:Пищевая промышленность, 1976, с296.