

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
( ФГБОУ ВО «МГТУ»)

Кафедра технологического и  
холодильного оборудования

**Методические указания  
к самостоятельной работе обучающихся**

**По дисциплине:** Б1.Б..21 Тепло- и массообмен  
код и наименование дисциплины

**Направление подготовки/специальность** 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и  
системы жизнеобеспечения  
код направления/специальности

**Направленность/специализация** Холодильная техника и технология  
наименование направленности (профиля) /специализации образовательной программы

**Квалификация выпускника** бакалавр  
указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО

**Кафедра-разработчик:** кафедра технологического и холодильного оборудования  
название кафедры-разработчика рабочей программы

Мурманск

2020

Разработчик – Голубева Ольга Алексеевна, кандидат технических наук,  
доцент, доцент кафедры ТХО.

МУ к СР рассмотрены и одобрены на заседании кафедры - разработчика  
технологического и холодильного оборудования, «23» июня 2020 г., протокол  
№ 8

**СОДЕРЖАНИЕ**

I ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
II ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН	5
III СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	6
IV СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ	6

## **I ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

Целью дисциплины «Тепло- и массообмен» является формирование компетенций в соответствии с ФГОС по направлению подготовки бакалавра и учебным планом для направления подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» направленности «Холодильная техника и технология».

### **Задачи дисциплины:**

- формирование у студентов методологического подхода к оценке термодинамических тепло- и массообменных процессов;
- выработка навыков решения инженерных задач, в том числе в рамках самостоятельной работы.

### **В результате изучения дисциплины студент должен:**

#### ***Знать:***

- основные законы тепло- и массообмена;
- основные способы энергосбережения;
- методы и средства измерения физических величин;
- основные законы теплопереноса;
- термодинамические процессы;
- принципы действия тепловых и холодильных установок;
- тепловые диаграммы.

#### ***Уметь:***

- разработать технологические процессы с обеспечением высокого уровня энергосбережения;
- выполнить инженерные расчёты теплоэнергетического оборудования;
- анализировать, обобщать и делать выводы по результатам исследований;
- проводить измерения и наблюдения, составлять описания проводимых исследований, готовить данные для составления отчётов и научных публикаций;
- внедрять результаты исследований в практику производственного процесса;
- применять достижения новых технологий

#### ***Владеть:***

- терминологией, определениями и положениями тепло- и массообмена.

Методические указания предназначены для оказания помощи обучающимся в самостоятельном постижении программы дисциплины. Для успешного освоения материала следует изучить теоретический материал по литературным источникам, указанным в каждой теме. Подтвердить полученные знания следует практическими расчётами.

## II ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Таблица 1

№ п/п	Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на самостоятельную работу по формам обучения	
		очная	заочная
1	2	3	4
1	Предмет, задачи и значение тепло- массообмена.	2	5
2	<b>Основные понятия и определения теории тепломассообмена</b> Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, излучение. Сложный теплообмен. Температурное поле. Градиент температур. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия	10	21
3	<b>Законы теплопроводности</b> Теплопроводность и теплопередача однослойной и многослойной плоской, цилиндрической и шаровой стенок. Тепловая изоляция. Выбор теплоизоляционного материала. Теплопередача через ребренную стенку. Теплопроводность при нестационарном тепловом режиме	7	21
4	<b>Законы конвективного теплообмена</b> Виды движения теплоносителя. Тепловой и динамический пограничный слой. Подобие физических процессов. Числа подобия. Критериальные уравнения. Частные случаи теплообмена при движении теплоносителя	10	21
5	<b>Тепловое излучение</b> Основные понятия и определения. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между твердыми телами. Тепловые экраны. Особенности излучения газообразных тел	9	20
6	<b>Законы массообмена</b> Понятие массообмена. Коэффициент диффузии. Градиент концентраций. Плотность потока массы. Аналогия тепло и массообмена. Законы массообмена	9	21
7	<b>Прикладные вопросы тепло- и массообмена</b> Применение законов тепло и массообмена при проектировании основного и вспомогательного оборудования холодильных установок, климатехники и систем жизнеобеспечения	10	20
Итого		57	129

### III СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

#### Основная литература

1. Ветошкин А.Г. Основы процессов инженерной экологии. Теория, примеры, задачи: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 512 с <https://e.lanbook.com/reader/book/45924/#1>
2. Круглов Г.А. Теплотехника: учеб. пособие для вузов / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е. С. Круглова. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2012. - 208 с. ( 5 экз.) <https://e.lanbook.com/reader/book/3900/#4>
3. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учеб. пособие для вузов / В. В. Нащокин. - Изд. 4-е, стер. - [Москва] : Аз-book, 2008. – 468 с. (93 экз.)
4. Теплотехника [Электронный ресурс] : метод. указания к выполнению расчет.-граф. заданий всех форм обучения / Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т, Каф. технол. и холодиль. оборудования ; сост. О. А Голубева, А. С. Никонова. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 1.8 Мб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2012
5. Теплотехника [Электронный ресурс] : метод. указания к решению задач для всех форм обучения / Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т, Каф. технол. и холодиль. оборудования ; сост. О. А Голубева, А. С. Никонова. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 1.2 Мб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2012

#### Дополнительная литература

6. Комаров, Г. А. Лабораторный практикум по тепло- и хладотехнике : учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 552400 "Технология продуктов общественного питания" и специальностям 271000" Технология рыбы и рыбных продуктов", 170600 "Машины и аппараты пищевых производств", 271300 "Пищевая инженерия малых предприятий", 070200 "Техника и физика низких температур" / Г. А. Комаров, О. А. Голубев; М-во образования и науки Рос. Федерации, ФГБОУ ВО "Мурман. гос. техн. ун-т". - Мурманск : МГТУ, 2001, 2018. - 139 с. (184 экз.)
7. Логинов В.С., Юхнов В.Е. Практикум по основам теплотехники. Учебное пособие. - СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 128 с <https://e.lanbook.com/reader/book/112679/#1>
8. Синявский Ю.В. Сборник задач по курсу Теплотехника : учебное пособие / Синявский Ю.В. – СПб, ГИОРД, 2010. – 128 с <https://e.lanbook.com/reader/book/4907/#1>
9. Теплоэнергетические расчеты [Электронный ресурс] : метод. указания для диплом. проектирования студентов специальности 260602.65 "Пищевая инженерия малых предприятий" / Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т, Каф. технол. и холодиль. оборудования ; сост. О. А. Голубева. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 780 Кб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2012

## IV СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### ТЕМА 1

Предмет, задачи и значение тепло- массообмена.

#### Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

**знать** роль тепло- и массообмена в отраслях промышленности, а также современное состояние и направления развития тепло- и массообмена;

**уметь** анализировать современное состояние и направления развития теории тепло- и массообмена

#### Методические указания

При изучении материала обучающемуся следует обратить внимание на роль отечественных ученых в развитии теории тепло- и массообмена.

Значение теории тепло- и массообмена для развития исследований термодинамических процессов трудно переоценить. Нет такой области техники, где в той или иной мере не приходилось бы решать теплотехнические вопросы. В металлургии, машиностроении, химической и пищевой промышленности большое значение имеют вопросы подвода, отвода и превращения теплоты, а также вопросы применения машин, работа которых либо непосредственно, либо косвенно связана с протекающими в них тепловыми процессами.

В пищевой промышленности тепловые машины, аппараты и установки используются, например, для получения технологического пара и горячей воды, для выработки тепловой и электрической энергии, для получения искусственного холода и т. д.

При рассмотрении современного состояния и направлений развития термодинамики обучающемуся следует обратить внимание на повышение эффективности использования теплоты

Литература: [1], с. 348-349; [2], с. 94-95; [3], с. 306-307.

#### Вопросы и задачи для самопроверки

1. Какое значение имеет теория тепло- и массообмена для развития науки и промышленности?
2. Назовите области применения теплоты и холода.
3. Приведите примеры использования в промышленности термодинамических процессов

## ТЕМА 2

### Основные понятия и определения теории теплообмена

Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, излучение. Сложный теплообмен. Температурное поле. Градиент температур. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия

### Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

*знать* основные понятия и определения теории теплообмена, физическую сущность и виды переноса теплоты, основной закон теплопроводности, влияние температуры на теплопроводность газов, жидкостей и металлов;

*уметь* применять начальные и граничные условия для дифференциального уравнения теплопроводности

### Методические указания

При изучении данной темы обучающемуся необходимо четко уяснить различие процессов переноса теплоты теплопроводностью, конвекцией и излучением, а также физическую сущность понятий «теплоотдача» и «теплопередача». При этом следует иметь в виду, что в чистом виде теплопроводность имеет место только в твердых телах, а конвекция в жидкостях и газах. Теплоотдача является необходимой составной частью теплопередачи и может быть конвективной, лучистой или совместной (сложной). Лучистый теплообмен между телами в отличие от теплопроводности и конвекции может осуществляться и в вакууме, т. е. при отсутствии промежуточной вещественной среды.

Литература: [2], с.94-111; [3], с.307-315; [5], с.45-53.

### Вопросы и задачи для самопроверки

1. Какие Вы знаете виды переноса теплоты? В чём их принципиальное отличие?
2. Какова природа передачи теплоты излучением?
3. В чём отличие процесса теплоотдачи от процесса теплопередачи?
4. Что такое температурное поле? Какие виды температурных полей Вы знаете?
5. Что называется изотермической поверхностью? Дайте определение градиента температуры.
6. Что такое поверхностная плотность теплового потока? Какова его размерность?

7. Сформулируйте основной закон теплопроводности.
8. Как изменяется теплопроводность металлов, жидкостей и газов в зависимости от температуры?
9. Что называется коэффициентом теплоотдачи? Какова его размерность?
10. Дайте характеристику коэффициента температуропроводности.

### ТЕМА 3

#### Законы теплопроводности

Теплопроводность и теплопередача однослойной и многослойной плоской, цилиндрической и шаровой стенок. Тепловая изоляция. Выбор теплоизоляционного материала. Теплопередача через ребренную стенку. Теплопроводность при нестационарном тепловом режиме

#### Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

**знать** граничные условия первого, второго и третьего рода при решении задач теплопроводности и теплопередачи, вывод уравнений, определяющих закон распределения температур по толщине стенки и количество теплоты, передаваемой через стенку, способы уменьшения термических сопротивлений;

**уметь** анализировать влияние внутренних и внешних термических сопротивлений на процессы теплопередачи, оценивать целесообразность применения теплоизоляционного материала.

#### Методические указания

Рассматривая теплопроводность различных тел при стационарном режиме, студент должен обратить внимание на те допущения, которые используются при выводе дифференциальных уравнений и получении их решений, позволяющих построить распределение температур по толщине стенки и найти общее количество теплоты, передаваемой через стенку. При оценке целесообразности применения изоляции для уменьшения тепловых потерь следует учесть, что критический диаметр изоляции не зависит от размеров трубопровода и определяется только значениями коэффициентов теплоотдачи от поверхности изоляции. При проектировании теплообменных аппаратов требуется интенсификация теплопередачи, т.е. уменьшение термического сопротивления, что может быть осуществлено увеличением теплопередающей поверхности со стороны наименьшего коэффициента теплоотдачи.

При изучении нестационарной теплопроводности надо обратить внимание на решение конкретных задач с помощью критериев Био и Фурье, твердо усвоив их физический смысл и влияние на протекание процессов нагревания тел.

Литература: [1], с. 94-102; [2], с.105-106; [3], с.316-347; [5], с. 45-53; [6], с. 67-74; [7], с. 56-84; [8], с. 65-97.

### Вопросы и задачи для самопроверки

1. Как определить температуру между слоями в многослойной и цилиндрической стенках?
2. Что такое общее термическое сопротивление, и из каких величин оно складывается?
3. От каких величин зависит линейный коэффициент теплопередачи для плоской и цилиндрической стенок?
4. Что такое критический диаметр изоляции и как его определить?
5. При каких условиях изоляция цилиндрической трубы будет уменьшать потери теплоты теплоносителя?
6. В каких случаях и как можно интенсифицировать процесс теплопередачи?
7. Какова основная задача при рассмотрении процессов нестандартной теплопроводности?
8. Напишите математическое выражение граничных условий первого, второго и третьего рода.
9. Опишите методику расчёта нагрева и охлаждения простейших тел с помощью критериев Био и Фурье.
10. Плоская стальная стенка, толщиной 10 мм (коэффициент теплопроводности  $40 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ), с одной стороны омывается газами, при этом коэффициент теплоотдачи  $25 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . С другой стороны, стенка изолирована от окружающего воздуха плотно прилегающей к ней пластиной, толщиной 20 мм с коэффициентом теплопроводности  $0,15 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Коэффициент теплоотдачи от пластины к воздуху равен  $10 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Определить плотность теплового потока и температуру поверхности стенок, если температура газов  $300^\circ\text{C}$ , а воздуха –  $5^\circ\text{C}$ .

## ТЕМА 4

### Законы конвективного теплообмена

Виды движения теплоносителя. Тепловой и динамический пограничный слой. Подобие физических процессов. Числа подобия. Критериальные уравнения. Частные случаи теплообмена при движении теплоносителя

### Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

*знать* определение и виды конвекции, режимы движения теплоносителя, виды кипения и конденсации, влияние различных факторов на теплообмен при свободном и вынужденном движении жидкости, при поперечном обтекании

труб, при изменении агрегатного состояния вещества, физический смысл основных критериев;

**уметь** рассчитывать коэффициенты теплоотдачи при различных движениях теплоносителя, при поперечном обтекании труб, расположенных в коридорном и шахматном порядке, при конденсации и кипении, применять основные критериальные зависимости, которые соответствуют конкретному виду задачи

### Методические указания

Из всех видов теплообмена конвективный теплообмен является наиболее сложным для исследования, поскольку при расчетах передачи теплоты конвекцией необходимо знать числовые значения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  для каждого конкретного случая. Следует иметь в виду, что роль  $\alpha$  не аналогична роли коэффициента теплопроводности в законе Фурье, так как  $\lambda$  является теплофизическим параметром среды, значение которого может быть взято из справочных таблиц. Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  представляет собой сложную функцию тепловых и динамических процессов, развивающихся в среде в непосредственной близости от поверхности теплообмена, которая зависит от режима движения теплоносителя, теплофизических свойств теплоносителя и геометрических факторов, связанных с конфигурацией системы конвективного теплообмена. Системы уравнений, определяющая конвективный теплообмен, позволяет определить  $\alpha$  только для ограниченного числа простейших задач и то с определенными допущениями. В общем случае определение  $\alpha$  приводит к необходимости проведения большого числа экспериментов на натурном объекте исследования. Отмеченные трудности устраняются при использовании теории подобия физических процессов, позволяющей проводить исследования на модели, а результаты опытов на модели распространить на все подобные явления. Теория подобия позволяет получить критериальные уравнения для определения коэффициента теплоотдачи. Студенту надо четко уяснить физический смысл основных критериев и уметь применять их в составе тех критериальных зависимостей, которые соответствуют конкретной задаче при рассмотрении конвективного теплообмена.

Литература: [2], с.99-102; [3], с.348-390; [5], с.54-61.

### Вопросы и задачи для самопроверки

1. Что такое конвективный теплообмен?
2. Что называется конвекцией?
3. Дайте определение теплового и гидродинамического слоя и объясните их физический смысл.
4. Перечислите виды движения теплоносителя и объясните физическую сущность этих процессов.

5. Какими числами подобия характеризуется конвективный теплообмен?
6. Что характеризует коэффициент теплоотдачи?
7. Каков механизм передачи теплоты от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их теплообменную поверхность?
8. Определить коэффициент теплоотдачи и количество переданной теплоты при течении воды в горизонтальной трубе диаметром 0,02 м и длиной 10 м со скоростью 0,3 м/с, если температура воды - 80 °С, температура стенки трубы – 30 °С.

## ТЕМА 5

### Тепловое излучение

Основные понятия и определения. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между твердыми телами. Тепловые экраны. Особенности излучения газообразных тел

### Целевая установка

При изучении этой темы обучающийся должен:

**знать** принципиальные отличия теплообмена излучением от теплообмена теплопроводностью и конвекцией, законы теплового излучения и границы их применения, особенности излучения газообразных тел;

**уметь** применять законы теплового излучения к решению конкретных задач

### Методические указания

Рассматривая процессы теплообмена излучением, студент должен особое внимание обратить на количественные соотношения между поглощенной, отраженной и пропущенной через тело энергиями. Для защиты объектов от лучистой энергии необходимо устанавливать тепловые экраны, максимально отражающие лучистую энергию. С целью увеличения эффективности экранов их целесообразно выполнять из материала с малым коэффициентом собственного излучения и повышенной отражательной способностью (алюминий, фольга, белая жемчужная бумага). При этом уменьшение потока теплоты будет обусловлено не только отражательной способностью экрана, но и уменьшением температурного напора, определяющего величину теплового потока. Если же необходимо получить максимальное количество лучистой энергии, передаваемой телу, воспринимающему эту энергию, ему необходимо придать такие свойства, чтобы оно не отражало, а поглощало тепловую энергию (покрытие поверхности тела краской, применение шероховатой поверхности). При решении конкретных задач лучистого теплообмена между твердыми телами необходимо ясно представлять те допущения, которые положены в основу расчета: собственное и отраженное излучение всех тел, между которыми происходит лучистый

теплообмен, подчиняется закону Ламберта: тела непрозрачны, внешние поверхности – изотермические; среда между телами прозрачна для излучения, а коэффициенты поглощения и черноты тела не зависят от температуры.

Радиационно – конвективный теплообмен очень сложен для рассмотрения, что затрудняет как аналитические, так и экспериментальные исследования сложного теплообмена. В связи с этим для практических расчетов используют принцип независимости конвективного и лучистого потоков, что оказывается верным, если один из них значительно меньше другого. Так, для учета теплоотдачи излучением к коэффициенту теплоотдачи конвекцией, подсчитанному обычным образом, т. е. без учета влияния радиационного теплообмена на профили температур, рекомендуется прибавлять условный коэффициент теплоотдачи излучением.

Литература: [2], с.103-105; [3], с.402-421; [8], с. 98-102.

### **Вопросы и задачи для самопроверки**

1. Что такое теплообмен излучением? Какова природа энергии излучения?
2. Что называется поглощательной, излучательной и отражательной способностью тела?
3. Какая поверхность тела называется белой, абсолютно белой, абсолютно чёрной, зеркальной?
4. От каких величин зависит эффективность излучения?
5. Перечислите законы теплового излучения. Дайте графическое изображение закона Планка?
6. Что характеризует степень черноты?
7. Объясните назначение тепловых экранов и докажите эффективность их установки.
8. В чём особенность излучения газообразных тел?
9. Как определяется суммарный коэффициент теплоотдачи при сложном теплообмене?

## **ТЕМА 6**

### **Законы массообмена**

Понятие массообмена. Коэффициент диффузии. Градиент концентраций. Плотность потока массы. Аналогия тепло и массообмена. Законы массообмена

### **Целевая установка**

При изучении этой темы обучающийся должен:

*знать* условия обратимости термодинамических процессов и условия превращения теплоты в работу в тепловых двигателях, прямой и обратный цикл

Карно и их свойства, обобщенный цикл в  $v$ - $P$ - и  $s$ - $T$ - диаграммах, эксергетический метод исследования процессов;

*уметь* вычислять термический КПД цикла Карно.

### Методические указания

При изучении этой темы студенту необходимо обратить особое внимание на то, что термический КПД цикла Карно всегда меньше единицы, не зависит от свойств рабочего тела, определяется только температурами горячего и холодного источников и имеет наибольшее значение по сравнению с термическим КПД любых других циклов. Поэтому никакими новыми конструкциями тепловых двигателей или применением новых рабочих тел нельзя в цикле всю подведенную теплоту превратить в полезную работу, для увеличения термического КПД необходимо стремиться к таким процессам, образующим цикл, чтобы средняя температура подвода теплоты была как можно больше, а средняя температура отвода теплоты как можно меньше.

Рассматривая эксергетический метод исследования, студент должен четко усвоить, что в общем случае эксергией называется удельная работоспособность теплоты, или потока рабочего тела, в обратимом термодинамическом процессе изменения состояния системы от начальных параметров ее состояния до постоянных параметров внешней среды. Эксергетический анализ удобен при исследовании сложных технических устройств, в которых используется энергия в различных формах, - работа, теплота, энергия химических превращений и т. д.

Литература: [1], с.180-225; [3], с.435-451.

### Вопросы и задачи для самопроверки

1. Какой процесс называется обратимым, а какой необратимым? Дайте им определения, приведите примеры.
2. Какой термодинамический цикл называется прямым, а какой обратным?
3. Из каких термодинамических процессов состоит прямой, обратный и регенеративный циклы Карно?
4. Для чего служат тепловые машины, работающие по прямому и обратному циклам?
5. Сформулируйте второй закон термодинамики.
6. Для обратимого или необратимого цикла термический КПД будет меньше? Почему?
7. Как получить максимальную полезную работу термодинамического цикла?
8. Что такое эксергия? Что характеризует эксергетический КПД?
9. Определить термический КПД кругового процесса, если газ в этом процессе получает 160 кДж теплоты и совершает при этом работу, равную 68 кДж.

10. Идеальный двигатель работает по циклу Карно в пределах температур от 873 до 300 К. При этом воздух массой 1 кг изотермически расширяется в пять раз. Определить количество подведённой и отведённой теплоты, полезную работу и термический КПД цикла.

## ТЕМА 7

### Прикладные вопросы тепло- и массообмена

Применение законов тепло- и массообмена при проектировании основного и вспомогательного оборудования холодильных установок, климатехники и систем жизнеобеспечения

### Целевая установка

При изучении этой темы обучающийся должен:

*знать* методику расчёта и подбора оборудования холодильных установок, климатехники и систем жизнеобеспечения;

*уметь* применять знания по данной теме решению конкретных задач.

### Методические указания

Данная тема объединяет знания по ряду ранее рассмотренных тем. Тепло- и массообменное оборудование имеет значительный перевес относительно всех других видов оборудования холодильных установок, климатехники и систем жизнеобеспечения. Незнание основных закономерностей теплообмена может привести к неверному подбору оборудования, нарушению режимов его работы и, как следствие, свести на нет результат работы множества людей.

При изучении материала обучающийся должен обратить внимание на основные области применения теплоты и холода.

Литература: [1], с.348-386; [2], с.107-111; [3], с. 424-429; [4], с. 31-46; [9], с. 13-18;

### Вопросы и задачи для самопроверки

1. Как подобрать основные теплообменные аппараты холодильной установки?
2. Приведите примеры применения теплоты и холода в какой-либо отрасли.