



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»  
(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

---

---

Кафедра Теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий

С.П. Рудобашта, Е.Л. Бабичева

**ТЕПЛОТЕХНИКА**

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ И  
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ**

СТУДЕНТАМ-ЗАОЧНИКАМ

Москва 2015

# ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА

Из общего энергетического баланса для сельского хозяйства около 90% приходится на долю теплоты, которая в основном (до 75%) расходуется на нужды коммунально-бытового сектора, остальное (до 25%) на сельскохозяйственное производство. При этом в себестоимости продукции доля теплоты на птицефермах достигает 10%, в сооружениях защищенного грунта 40 и более процентов. В связи с этим большое значение приобретает подготовка высококвалифицированных кадров, способных решать вопросы эффективного и экономичного применения теплоты; использования теплотехнического оборудования, снабженного средствами автоматизации; использования наиболее рациональных схем теплоснабжения; утилизации отходов теплоты промышленных предприятий и т.д.

**Дисциплина «Основы теплотехники» состоит из трех разделов:**

1. Техническая термодинамика;
2. Основы теории тепломассообмена;
3. Применение теплоты в сельском хозяйстве.

Студенты факультетов заочного образования прорабатывают данную дисциплину в основном самостоятельно с использованием рекомендованных учебных пособий, руководствуясь ее учебной программой и методическими указаниями. Самостоятельная работа предполагает изучение отдельных вопросов дисциплины и проработку вопросов методики преподавания некоторых тем курса с использованием источников, не вошедших в приведенный ниже перечень. В процессе изучения дисциплины студенты выполняют контрольную работу.

Контрольные работы представляются до приезда слушателей на соответствующую сессию. В период сессии студентами выполняются лабораторные работы и прослушиваются обзорные лекции по основным вопросам дисциплины. По всем изучаемым вопросам можно получить письменную или устную консультацию на кафедре.

**Цель дисциплины** – овладение будущими специалистами теоретическими и практическими знаниями по теплотехнике.

К экзаменам допускаются студенты, которые получили зачет по индивидуальному заданию и лабораторным работам.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАЗДЕЛОВ КУРСА

Теоретические основы теплотехники являются базисом для изучения последующих разделов курса, определяют возможности студента творчески решать теплотехнические вопросы. Для закрепления теоретического материала необходимо добиваться четкого представления о физической сущности явлений и процессов, рекомендуется составлять конспект, решать задачи, а также использовать вопросы для самопроверки. Для студентов, обучающегося по направлению 35.03.06 – Агроинженерия по профилю Технические системы в агробизнесе и по профилю Электрооборудование и электротехнологии, по направлению 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника по профилю Электроснабжение, по направлению 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов по профилю Автомобили и автомобильное хозяйство, немаловажное значение имеют вопросы, связанные с методикой преподавания дисциплины в сельскохозяйственном техникуме, с умением творчески применять полученные знания в педагогической практике. Поэтому изучение материала следует сочетать с работой по приобретению навыков методики преподавания конкретных тем.

По наиболее важным темам следует составить план занятия, в котором отразить метод, цель занятия и его структуру (план с указанием отдельных вопросов темы и отведенного на них времени, наглядные пособия).

При планировании учебного материала в начале курса обучения необходимо предусмотреть вопросы, касающиеся места и роли изучаемого предмета в процессе обучения, обратить внимание на число часов, отводимых в техникуме на урок и на лабораторно-практические занятия.

В теоретической части курса решающее значение имеет урок с сообщением новых знаний и использованием наглядных пособий в виде принципиальных схем тепловых и холодильных машин, диаграмм в координатах  $p\nu$ ,  $Ts$ ,  $hs$  и  $Hd$ , кинофильмов, диафильмов, диапозитивов.

В плане занятий необходимо предусмотреть экскурсии как урок особого вида, а также контроль знаний, который помогает учащимся ощущать результат своего труда.

При изложении материала следует подчеркнуть практическую направленность предмета, обратить внимание на раскрытие физической сущности изучаемых явлений и закономерностей, строго соблюдать обозначения и размерности величин.

## Раздел 1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

### Тема 1. Основные понятия и определения

Основной задачей технической термодинамики является изучение зако-

номерностей взаимного превращения теплоты и работы и установление эффективных способов осуществления этого превращения. Материалы этой темы: предмет и задачи технической термодинамики; энергия и ее свойства; теплота и работа; рабочее тело; параметры состояния тел, используемых в тепловых машинах; термодинамическая система и процесс; равновесные и неравновесные состояния; обратимый и необратимый процессы являются основой для изучения последующих тем. Поэтому следует обратить внимание на четкое усвоение основных понятий и определений.

## **Тема 2. Смеси идеальных газов. Теплоемкость**

Здесь основное внимание следует обратить на способы задания смеси газов, соотношение между массовыми, объемными и мольными долями, на основные законы, связанные со смесями идеальных газов, на уравнение состояния идеального газа.

Одной из важнейших сторон теплотехнического расчета является подсчет количества теплоты, полученной или отданной рабочим телом, с использованием физической величины, называемой теплоемкостью. Необходимо разобраться в названиях и единицах измерения, формулах и таблицах для определения теплоемкости; факторах, влияющих на величину теплоемкости; зависимость теплоемкости от температуры, от вида термодинамического процесса, а также выяснить, почему теплоемкость газа при постоянном давлении  $c_p$  больше теплоемкости газа при постоянном объеме  $c_v$ .

## **Тема 3. Первый закон термодинамики**

Как известно, I-й закон термодинамики является частным случаем всеобщего закона сохранения и превращения энергии в приложении к исследуемым в термодинамике тепловым процессами. Изучение материала следует начать с усвоения сущности I-го закона термодинамики, его формулировок и аналитического выражения.

При составлении энергетических балансов тепловых процессов необходимо четко усвоить, на что расходуется теплота, подводимая к телу; обратить внимание на энергетические параметры состояния, на принципиальное различие между функциями состояния – внутренней энергией, энтальпией и функциями процесса – теплотой и работой; разобраться в графических формах изображения работы и теплоты в  $p\nu$  и  $Ts$  координатах.

## **Тема 4. Исследование термодинамических процессов**

Исследования процессов производятся с использованием первого закона термодинамики, характеристического уравнения состояния газов и понятия теплоемкости. Изучение темы следует начать с политропных процессов. Обратите внимание на обобщающее значение политропного процесса, на вывод уравнения политропы и его показателя, на графический анализ основных термодинамических процессов (изохорного, изобарного, изотермического и адиа-

батного) в  $p\nu$  и  $Ts$  координатах.

### **Тема 5. Второй закон термодинамики**

Второй закон термодинамики указывает направление протекания энергетических процессов и характеризует условия превращения теплоты в работу, условие переноса теплоты с низшего температурного уровня на высший. При изучении этой темы необходимо прежде всего уяснить физическую сущность второго закона термодинамики и его формулировки, особенности прямого и обратного циклов Карно, сделать выводы из обобщений обратимых и необратимых циклов. Уясните смысл функции состояния – энтропии, но не смешивайте понятия «энтропия тела» и «энтропия системы». Освойте изображение циклов в  $p\nu$  и  $Ts$  диаграммах. Для анализа совершенства тепловых процессов большое значение имеет умение пользоваться понятиями: термический КПД, холодильный коэффициент. Разберитесь в математических выражениях второго закона термодинамики, в определении абсолютной температуры как интегрирующего делителя в объединенном уравнении I-го и II-го законов термодинамики.

Рассматривая Вселенную как изолированную систему, Р. Клаузиус и У. Томсон пришли к выводу о возрастании ее энтропии и, как следствие, возможной «тепловой смерти». Материал этой темы может быть использован для методической разработки занятия (урока) с учащимися сельскохозяйственного техникума.

### **Тема 6. Термодинамические свойства и процессы реальных газов**

Из используемых в технике паров различных веществ наибольшее распространение имеет водяной пар. Необходимо четко усвоить, что водяной пар в общем случае нельзя принять за идеальный газ и к нему при высоких давлениях нельзя применять уравнения идеальных газов; что ввиду сложности аналитического выражения связи между параметрами состояния, процессы и циклы для пара рассчитываются с помощью таблиц и основной диаграммы  $hs$ . Уясните себе структуру уравнений для реальных газов Ван-дер-Ваальса и других авторов. Следует обратить внимание на определение параметров пара различного состояния, на определение количества теплоты, необходимой для его получения; на различие в общем случае линий для пара и газа, характеризующих основные термодинамические процессы в  $p\nu$  и  $Ts$  диаграммах. Так, для газа в изотермическом процессе изменение внутренней энергии равно нулю, а для пара  $\Delta u$  не равно нулю и т.д.

### **Тема 7. Влажный воздух**

С процессами, в которых происходит изменение состояния влажного воздуха, приходится встречаться при расчете сушильных устройств, систем вентиляции, кондиционирования. Обратите внимание на основные определения (сухой, влажный, насыщенный, ненасыщенный воздух, температура точки росы и

температура мокрого термометра и др.) и параметры влажного воздуха (абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, плотность, энтальпия), на расчеты наиболее характерных процессов (нагревание, охлаждение, смешение, адиабатное увлажнение) с использованием  $h_d$  диаграммы, на правомерность применения законов идеального газа для влажного воздуха, на размерность энтальпии влажного воздуха и влагосодержания, отнесенных к 1 кг сухого воздуха.

### **Тема 8. Термодинамика потока газов и паров**

Работа многих машин и устройств основана на использовании кинетической энергии движущегося газа или пара. Изучение темы необходимо начать с изучения I-го закона термодинамики для потока и уравнения сплошности, с рассмотрения допущений, положенных в основу при выводе уравнения энергии для потока, остановиться на уравнениях, определяющих располагаемую работу, на ее изображении в  $pv$  координатах, на уравнениях скорости истечения, секундного расхода, критических параметрах, параметрах (температуре и давлении) заторможенного потока.

Обратите внимание на изображение процесса истечения в  $hs$  диаграмме. Уясните себе, что при адиабатном обратимом истечении газов и паров увеличение кинетической энергии рабочего тела равно уменьшению его энтальпии. Далее необходимо разобраться в условиях перехода от дозвуковых скоростей потока к звуковым и сверхзвуковым, в каком из этих случаев используется суживающееся сопло и в каком комбинированное сопло (или сопло Лаваля); какие уравнения применяются для расчета скорости потока в критическом и выходном сечениях комбинированного сопла.

### **Тема 9. Дросселирование газов и паров**

Процессы изменения состояния с падением давления связаны с прохождением газа или пара через суживающееся сечение канала. Уясните особенности адиабатного дросселирования, при котором энтальпия, а для идеального газа и температура, до и после дросселирования, не изменяются. В случае дросселирования реальных газов (паров) неизменность их температуры не соблюдается, что можно наглядно представить в  $hs$  диаграмме. В этой теме в первую очередь надо уяснить смысл дифференциального дроссель-эффекта и температуры инверсии; обратить внимание на изменение параметров состояния газа при дросселировании; особенности дросселирования идеального газа; объяснить условия сжижения газа при дросселировании. Следует различать адиабатное дросселирование ( $q = 0, \Delta s > 0$ ) и адиабатное обратимое расширение ( $q = 0, \Delta s = 0$ ).

### **Тема 10. Циклы теплосиловых установок**

Для простоты исследования действительные циклы идеализируются. Исследование циклов, состоящих из обратимых процессов, позволяет ис-

пользовать при анализе их термодинамической эффективности закономерности, полученные для идеальных газов.

Циклы двигателей внутреннего сгорания различаются по способу подвода теплоты: с подводом теплоты при постоянном объеме, постоянном давлении и со смешанным подводом теплоты. При этом необходимо обратить внимание на параметры цикла (степень сжатия, степень повышения давления, степень предварительного расширения); на аналитический и графический анализы с выводом формул удельной работы и КПД цикла. Студент должен освоить сравнительный анализ циклов в  $Ts$  диаграмме.

### **Тема 11. Термодинамический анализ процессов, в компрессорах**

На привод компрессора затрачивается работа извне. Необходимо уяснить себе преимущества изотермического сжатия, причины применения многоступенчатого сжатия и промежуточного охлаждения рабочего тела в компрессорах, как зависит работа привода компрессора (или техническая работа) от величины показателя политропы сжатия, какова связь между технической работой и работой процесса сжатия, изображение рабочего процесса компрессора в  $pV$  и  $Ts$  координатах.

### **Тема 12. Циклы паросиловых установок (ПСУ)**

Изучение идеальных циклов паросиловых установок следует начать с цикла Карно. При этом надо учесть, что так же, как и в случае ДВС, цикл Карно в реальных установках не используется. Основным циклом паросиловых установок является цикл Ренкина. Изучите схему паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина, изображение цикла Ренкина в  $pV$  и  $Ts$  диаграммах; рассмотрите вопрос о способах повышения экономичности паросиловых установок, тесно связанных с обеспечением надежности работы паровой турбины. Уясните термодинамические основы теплофикации.

### **Тема 13. Циклы холодильных установок и тепловых насосов**

Тема является весьма актуальной, так как холодильные установки и тепловые насосы находят все большее применение в сельском хозяйстве. При изучении темы необходимо прежде всего разобраться в принципиальных схемах холодильных установок (паровых компрессионных и абсорбционных).

Показателем совершенства цикла является холодильный коэффициент  $\xi$ . Уясните себе, от чего зависит коэффициент  $\xi$ . Следует обратить внимание на изображение цикла паровой компрессионной холодильной машины в  $Ts$  диаграмме и его принципиальное отличие от обратного цикла Карно. Далее необходимо изучить принцип работы теплового насоса и сделать заключение о целесообразности его использования для нужд теплофикации. Уясните сущность коэффициента преобразования теплоты.

## Вопросы для самопроверки

### Тема 1

1. Что изучается в технической термодинамике?
2. Что понимается под термодинамической системой?
3. Какими основными параметрами характеризуется состояние рабочего тела?
4. Какое состояние называется равновесным и какое неравновесным?
5. Что называется термодинамическим процессом? Какие процессы называются обратимыми и какие – необратимыми?

### Тема 2

1. Какие способы задания смеси газов вам известны?
2. Выведите уравнения связи между массовыми и объемными долями.
3. Напишите уравнение состояния идеального газа и приведите размерности входящих в него величин.
4. Какая разница между характеристической и универсальной газовыми постоянными?
5. Чем отличается истинная теплоемкость от средней?
6. Почему теплоемкость газа при постоянном давлении больше, чем при постоянном объеме?

### Тема 3

1. В чем заключается сущность I-го закона термодинамики?
2. Дайте формулировки и аналитические выражения первого закона термодинамики. Объясните физическую сущность величин, входящих в уравнения первого закона термодинамики.
3. Что понимается под внутренней энергией и энтальпией?
4. Дайте примеры функций состояния и функций процесса.
5. Как изображается работа расширения объема и техническая работа в  $pV$  координатах?

### Тема 4

1. Что такое политропный процесс? Каковы значения показателя политропы и теплоемкости для основных термодинамических процессов? Изобразите эти процессы в  $pV$  и  $Ts$  координатах.
2. В каком процессе вся подведенная теплота идет на увеличение внутренней энергии и в каком процессе на совершение работы?
3. В каком процессе подведенная к рабочему телу теплота численно равна изменению энтальпии и в каком процессе работа совершается лишь за счет уменьшения внутренней энергии?

### Тема 5

1. В чем заключается сущность второго закона термодинамики?
2. Приведите основные формулировки второго закона термодинамики.
3. Какие машины работают по прямому циклу и какие по обратному? Чем оценивается их эффективность?
4. Изобразите в  $pV$  и  $Ts$  диаграммах цикл Карно и напишите формулу его

термического КПД.

5. Что называется энтропией рабочего тела?

6. Как изменяется энтропия изолированной системы в случае протекания в ней необратимых процессов?

7. Что такое эксергия? Для чего она служит?

8. Что показывает термический КПД?

9. Что означает холодильный коэффициент?

#### Тема 6

1. Что такое испарение и кипение?

2. Почему в теории рассматривается именно процесс парообразования при  $p = \text{const}$ ? Изобразите его в  $p\nu$ ,  $Ts$  и  $hs$  диаграммах. Назовите области пара различного состояния.

3. Что понимается под сухим и влажным насыщенным паром, перегретым паром, степенью перегрева, степенью сухости, скрытой теплотой парообразования?

4. В  $Ts$  диаграмме покажите площади, соответствующие скрытой теплоте парообразования, теплоте перегрева пара, энтальпии сухого и перегретого пара. Как изменяется теплота парообразования с изменением давления?

5. Какой физический смысл пограничных кривых?

6. Приведите формулы для определения работы, теплоты и изменения внутренней энергии в процессе парообразования. Как определить удельный объем, энтальпию и энтропию влажного пара?

7. Чем характерна критическая точка?

8. Изобразите основные термодинамические процессы с паром в  $p\nu$ ,  $Ts$  и  $hs$  диаграммах.

9. Что учитывается при выводе уравнения Ван-дер-Ваальса?

#### Тема 7

1. Дайте определение влажного воздуха.

2. Что такое насыщенный и ненасыщенный влажный воздух?

3. Что такое абсолютная, относительная влажность, влагосодержание воздуха?

4. В чем особенность размерности энтальпии влажного воздуха и как она подсчитывается?

5. Что такое температура точки росы?

6. Изобразите в  $hd$  координатах процесс нагревания и сушки в идеальной сушилке. Почему в этом случае процесс нагревания протекает при постоянном влагосодержании, а процесс сушки при неизменной энтальпии?

#### Тема 8

1. Напишите уравнение I закона термодинамики потока.

2. Напишите уравнение энергии газового потока и дайте объяснение отдельным членам, входящим в него.

3. Что такое располагаемая работа и что такое работа проталкивания?

4. Дайте изображение располагаемой работы в  $p\nu$  координатах.

5. Дайте аналитическое описание критических параметров потока при истечении газа или пара из сопла.

6. В каких случаях и почему используется суживающееся сопло?

7. При каких условиях применяется комбинированное сопло (сопло Лаваля)? Почему в закритической области расход газа не зависит от перепада давления?

8. Нарисуйте зависимость скорости истечения и секундного расхода в функции перепада давления для суживающегося и для комбинированного сопла.

9. Изобразите процесс истечения в  $hs$  диаграмме.

#### Тема 9

1. Какой процесс называется дросселированием?

2. Как изменяется энтальпия, энтропия и температура идеального газа при дросселировании?

3. Как изменяются энтальпия, энтропия, объем и температура реального газа при дросселировании?

4. Что называется эффектом Джоуля-Томпсона, как он записывается аналитически?

5. Что такое температура инверсии?

6. Изобразите процесс дросселирования влажного и перегретого пара в  $hs$  диаграмме и объясните, как изменяются при этом их параметры.

#### Тема 10

1. Какой цикл называется идеальным?

2. Почему процессы сжатия и расширения во всех идеальных циклах тепловых двигателей принимаются адиабатными?

3. Изобразите циклы поршневых ДВС в  $pV$  и  $Ts$  координатах и дайте их сравнительный анализ. Чем определяется название циклов?

4. Какими параметрами определяется термический КПД каждого цикла?

#### Тема 11

1. Что называется компрессором?

2. Изобразите в  $pV$  и  $Ts$  диаграммах рабочий процесс одноступенчатого и двухступенчатого поршневого компрессора.

3. Покажите, как зависит работа привода компрессора от величины показателя политропы сжатия.

4. Как влияет показатель политропы сжатия на конечную температуру газа в одноступенчатом компрессоре?

5. Какие преимущества имеет двухступенчатый компрессор перед одноступенчатым?

6. Приведите аналитическую связь между работой процесса сжатия и технической работой (или работой привода компрессора).

#### Тема 12

1. Изобразите в координатах  $pV$ ,  $Ts$  и  $hs$  цикл Ренкина.

2. Как влияют начальные параметры пара (температура и давление) на ве-

личину термического КПД цикла?

3. Для чего применяется вторичный перегрев пара?

4. В чем заключается сущность и экономическая целесообразность совместной выработки электроэнергии и теплоты?

### Тема 13

1. Нарисуйте принципиальные схемы холодильных установок.

2. Изобразите цикл паровой компрессионной холодильной машины в  $Ts$  диаграмме и рассмотрите принципиальное (отличие цикла от обратного цикла Карно)

3. Какой параметр характеризует эффективность холодильной машины?

4. Изобразите принципиальную схему теплового насоса и опишите его работу. В каких случаях целесообразно применять тепловой насос?

5. Что такое коэффициент преобразования?

## **Раздел 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕПЛОМАССОБМЕНА**

В начале этого раздела обратите внимание на роль теплообмена в различных сельскохозяйственных процессах.

### **Тема 1. Основные понятия и определения**

Во многих технических процессах передача энергии осуществляется в форме теплоты и практически без переноса массы, поэтому для упрощения сначала следует рассмотреть элементарные процессы теплообмена: теплопроводность, конвекцию и излучение. При изучении темы необходимо разобраться в этих понятиях, обратив особое внимание на физические основы процессов переноса энергии массы, а также в понятиях: теплоотдача, теплопередача, стационарный и нестационарный режимы теплообмена, ламинарный и турбулентный режимы течения, температурное поле, температурный градиент.

### **Тема 2. Теплопроводность**

Аналитическая зависимость переноса теплоты теплопроводностью выражается законом Фурье. Уясните физический смысл теплопроводности  $\lambda$ , входящей в уравнение Фурье, и запомните ее размерность. Далее необходимо обратить внимание на упрощения и граничные условия первого и третьего рода, позволяющие из общего выделить частное при решении дифференциальных уравнений теплопроводности для плоской и цилиндрической стенок. Для многослойных плоских и цилиндрических стенок, часто встречающихся на практике (стены домов, трубы с изоляцией или со слоем накипи и т.д.), расчеты теплопроводности удобно проводить с использованием величин их термических сопротивлений. Обратите внимание на понятие температуропроводность, на расчет теплопроводности тел с внутренними источниками теплоты, на аналитические и численные методы решения задач нестационарной теплопроводности.

сти.

### **Тема 3. Конвективный теплообмен**

В теории теплообмена процессы конвективного переноса теплоты являются наиболее сложными. Решение задач с помощью дифференциальных уравнений математической физики, описывающих тот или иной процесс конвективного теплообмена, не всегда возможно. В инженерной практике для решения задач конвективного теплообмена широко используется теория подобия и теория моделирования.

Ознакомьтесь с работами по теории подобия, с основными числами подобия (Нуссельта, Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля), критериальными уравнениями для свободного и вынужденного движения теплоносителя. Обратите внимание на теорему Кирпичева-Гухмана об условиях подобия конвективного теплообмена. Уясните смысл уравнения Ньютона-Рихмана, коэффициента теплоотдачи, чисел подобия, что они характеризуют; пределы и условия использования критериальных уравнений, определяющие геометрические размеры и температуры, соответствующие этим условиям (при свободном и вынужденном движении теплоносителя, ламинарном или турбулентном режимах течения и при различных условиях обтекания тел). Материал этой сложной темы рекомендуется для методической разработки.

### **Тема 4. Теплообмен при изменении агрегатного состояния жидкости**

В этой теме следует обратить внимание на физическую сущность процессов теплообмена при кипении и конденсации, что позволит вам разобраться в причинах снижения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  при переходе от пузырькового режима кипения к пленочному, или при образовании на поверхности теплообмена конденсатной и газовой пленок. Изучите расчетные формулы для определения коэффициентов теплоотдачи, уясните себе возможные последствия превышения критической тепловой нагрузки. Исходя из причин снижения коэффициента теплоотдачи в теплообменниках, разрабатываются режимы и мероприятия их устраняющие, а именно: устанавливаются оптимальные тепловые нагрузки при кипении, удаляются конденсатная и газовые пленки и др. Уделите внимание этому вопросу.

### **Тема 5. Теплообмен излучением**

При изучении этой темы программа предусматривает, что студент знаком из курса физики с основными законами лучистого теплообмена. В отличие от теплопроводности и конвекции при лучистом теплообмене происходит двойное превращение энергии. Необходимо четко уяснить физическую сущность лучистого теплообмена; разобраться в конкретных задачах лучистого теплообмена: между абсолютно черными, серыми телами, произвольно расположенными в пространстве; между телом и оболочкой; в механизме защитного действия экранов. Особое внимание уделите лучистому теплообмену между газом и

стенкой, часто встречающемся на практике, разберитесь в методике определения степени черноты газа и коэффициента теплоотдачи излучением.

### **Тема 6. Теплопередача**

Теплопередачей принято называть сложный теплообмен между двумя средами, разделенными перегородкой. В этой теме следует обратить внимание на составление и решение инженерных задач по теплопередаче через плоскую и цилиндрическую стенки, на допускаемые при этом упрощения, на размерность коэффициента теплопередачи  $k$ , на методы интенсификации процесса теплопередачи, а также на условия снижения интенсивности процесса теплопередачи (тепловая изоляция).

### **Тема 7. Расчет теплообменных аппаратов**

Определение величины поверхности нагрева теплообменников производится лишь при проектировании новых аппаратов. Для теплообменников, находящихся в эксплуатации, производятся поверочные расчеты с целью уточнения режимов работы и сроков профилактических осмотров.

Студент должен четко представлять себе основные различия между теплообменниками рекуперативного, регенеративного и смешительного типов, особенности их использования и расчета, в чем заключаются преимущества противоточной схемы теплообменника перед прямоточной, особенности расчета теплообменных аппаратов с внутренними источниками теплоты. Усвойте методику определения среднего температурного напора между двумя теплоносителями, построение графиков изменения их температур.

Эта тема, имеющая большое практическое значение, может быть рекомендована для методической разработки.

### **Тема 8. Основы массообмена**

Процессы теплообмена в ряде случаев, например при сушке зерна, сопровождаются процессами переноса массы вещества, которые нельзя не учитывать при расчетах.

Изучение темы следует начать с усвоения основных терминов: массообмен, диффузия молекулярная, молярная, термодиффузия и т. д. Далее следует ознакомиться с законом Фика, характеризующим интенсивность концентрационной диффузии, с общим выражением плотности диффузионного потока или потока массы. Плотность вещества в движущейся среде определяется суммой конвективного переноса и молекулярной диффузии. При сушке влажного материала механизм переноса теплоты и влаги отличается от процессов, протекающих при испарении жидкости со свободной поверхности. Изучите основные законы переноса теплоты и массы во влажных материалах, числа подобия тепломассообмена, основные критериальные уравнения, коэффициенты переноса теплоты и вещества.

*Вопросы для самопроверки*

## Тема 1

1. Опишите механизм переноса теплоты теплопроводностью и конвекцией.
2. Что понимается под стационарным и нестационарным режимами теплообмена?
3. Дайте определение и аналитическое выражение температурного поля в общем виде, а также определение и геометрическое изображение температурного градиента.

## Тема 2

1. Сформулируйте и напишите в дифференциальной форме основной закон теплопроводности.
2. Какова размерность и физический смысл теплопроводности  $\lambda$ ? Чем задаются краевые условия?
3. Используя граничные условия, опишите аналитически в конечных разностях и дайте графическое изображение закона распределения температуры по толщине плоской и цилиндрической стенки на стационарном режиме.
4. Дайте аналитическое соотношение для линейной (отнесенной к 1 м длины трубы) и поверхностной плотности теплового потока через цилиндрическую стенку.
5. Дайте анализ уравнений температурного поля и плотности теплового потока в плоской стенке с внутренними источниками теплоты.

## Тема 3

1. Напишите уравнение конвективной теплоотдачи Ньютона-Рихмана и сделайте его анализ.
2. От каких факторов зависит коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  и какова его размерность?
3. Что характеризуют числа Нуссельта ( $Nu$ ), Грасгофа ( $Cr$ ), Рейнольдса ( $Re$ ), Прандтля ( $Pr$ )? Приведите их безразмерные комплексы.
4. Напишите критериальные уравнения для теплообмена при свободной и вынужденной конвекции в общем виде и дайте методику решения задач конвективного теплообмена с их помощью.
5. Сформулируйте теорему подобия Кирпичева-Гухмана.
6. Что такое определяющая температура и определяющий размер?

## Тема 4

1. При каких условиях возникают процессы кипения и конденсации?
2. Как образуются пузырьки пара?
3. Назовите известные вам режимы кипения. Как влияет температурный напор на режимы кипения?
4. Опишите недостатки пленочного режима кипения.
5. От чего зависит величина коэффициента теплоотдачи при конденсации?
6. Как определяется масса образовавшегося конденсата?

## Тема 5

1. Что понимается под тепловым излучением и в границах каких длин волн оно проявляется?

2. Сформулируйте закон Стефана-Больцмана для теплового излучения тел.
3. Что понимается под серым и абсолютно черным телами?
4. Как определяется лучистый поток между серыми телами, произвольно расположенными в пространстве, между параллельными плоскими стенками, между телом и оболочкой?
5. Для чего нужны экраны и какими свойствами они обладают?
6. Чем отличается излучение газов от излучения твердых тел?
7. Какие газы считаются прозрачными для тепловых лучей?
8. Напишите формулу для определения степени черноты газов.
9. Приведите уравнение лучистого теплообмена между газом и окружающими стенками и объясните значение составляющих величин.

#### Тема 6

1. Что называется теплопередачей?
2. Выведите уравнения теплопередачи через плоскую и цилиндрическую стенки на стационарном режиме. Приведите размерности коэффициента теплопередачи  $k$ .
3. За счет чего можно интенсифицировать теплопередачу?
4. Что называется критическим диаметром изоляции и как он определяется?

#### Тема 7

1. Какие виды теплообменных аппаратов вам известны?
2. Напишите уравнения теплового баланса и теплопередачи, используемые при расчете теплообменных аппаратов.
3. Напишите формулу для расчета среднелогарифмического температурного напора при прямотоке и противотоке. В каких случаях среднелогарифмический температурный напор можно заменить среднеарифметическим?
4. Какая величина называется условным эквивалентом и для чего она введена?
5. Какие преимущества имеет противоточная схема перед прямоточной?
6. Дайте графическое изображение изменения температуры горячего и холодного теплоносителей для случаев прямотока и противотока.

#### Тема 8

1. Что такое массообмен и как он осуществляется?
2. В каких случаях теплообмен сопровождается переносом массы?
3. Какие числа подобия входят в критериальные уравнения тепломассообмена? Что они характеризуют?
4. Сформулируйте закон Фика для потока массы, передаваемого молекулярной диффузией. Приведите размерность коэффициента молекулярной диффузии  $D$ .
5. Напишите формулу для потока вещества при конвективном массообмене. Приведите размерность коэффициента массоотдачи  $\beta$ .
6. Дайте анализ уравнения переноса массы и температурного поля в пористых телах.

7. Напишите уравнения для определения интенсивности теплообмена с поверхности тела и произведите анализ его составляющих.

## **Раздел 3 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

### **3 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Приступая к изучению этой части, обратите внимание на роль теплоты в энергетическом балансе сельского хозяйства, современное состояние и перспективы развития сельскохозяйственной теплоэнергетики и применения теплоты в сельском хозяйстве. Изучите классификацию потребителей теплоты в сельском хозяйстве и графики их тепловой нагрузки.

#### **3.1 ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ**

##### **Тема 1. Котельные установки**

Котельные установки – сложные устройства, предназначенные для производства водяного пара или получения горячей воды. Изучение темы следует начать с принципиальных схем и описания котельных установок; ознакомиться с основным и вспомогательным оборудованием котельного агрегата; разобраться во взаимодействии систем, их назначении. Далее рассмотрите классификацию котельных установок по типам, назначению, производительности, давлению и температуре пара, организации движения пароводяной смеси.

##### **Тема 2. Котлы**

При изучении этой темы обратите основное внимание на котлы (паровые, водогрейные), используемые в сельском хозяйстве, на котлы-утилизаторы, на их характеристики. Одновременно следует ознакомиться с котлами средней и большой паропроизводительности. Изучите порядок распределения по газопотоку котла конвективных поверхностей (пароперегревателя, водяного экономайзера и воздухоподогревателя), их конструкции. Проанализируйте такой порядок распределения с точки зрения обеспечения максимальной интенсификации передачи теплоты.

##### **Тема 3. Тепловой баланс котельного агрегата**

При проектировании котельного агрегата тепловой баланс, позволяет определить расчетный часовой расход топлива. Необходимо разобраться в приходной и расходной частях теплового баланса, в причинах потерь и способах их уменьшения; в методике выбора температуры уходящих газов из котельного агрегата; в определении коэффициента полезного действия котельного агрегата (брутто, и нетто); часового расхода и испарительности топлива.

##### **Тема 4. Топочные устройства**

Обратите внимание на слоевой, факельный (или камерный) и вихревой способы сжигания различных видов топлива; на способы организации смесе-

образования и горения в них; средства механизации; устройство форсунок и горелок; на принципиальные конструктивные схемы топочных устройств, их сравнительный анализ по тепловым напряжениям и теплопроизводительности. Вопросы сжигания пылевидного топлива следует изучать совместно с системами пылеприготовления и подачи топлива в топку, с конструкциями горелок.

### **Тема 5. Основные способы и схемы обработки котловой и питательной воды**

Изучите требования, предъявляемые к питательной и котловой воде. Ознакомьтесь с составом примесей в сырой воде и методами их удаления, с питательными устройствами, со способами продувки котлов и деаэрации питательной воды.

### **Тема 6. Вспомогательные устройства котельных**

Ознакомьтесь со схемами подачи воздуха и отвода продуктов сгорания в котельных установках, с назначением и условиями применения естественной и искусственной тяги, с расчетом дымовой трубы, с расчетом и выбором дымососа и дутьевого вентилятора.

Обратите внимание на принципы действия различных схем золоулавливания, золо- и шлакоудаления.

### **Тема 7. Основные сведения по эксплуатации котельных установок**

Ознакомьтесь с особенностями эксплуатации котельных установок; с условиями образования осадений золы и накипи, возникновения коррозии низкотемпературных поверхностей нагрева и мерами борьбы с ними.

Обратите внимание на порядок гидравлических испытаний котлов, на основные положения техники безопасности, на средства автоматизации, на обеспечение надежности и экономичности работы котельных установок, на вопросы защиты окружающей среды. Изучите условия хранения котлов в межсезонный период.

### **Тема 8. Теплогенераторы**

Для воздушного отопления и вентиляции производственных помещений сельскохозяйственного назначения, для сушки многих сельскохозяйственных культур широко применяются различные типы теплогенераторов. Изучите типы теплогенераторов, (их характеристики, системы автоматизации управления и безопасности. Ознакомьтесь с системами подачи и устройствами для сжигания жидкого и газообразного топлива. Уясните области использования теплогенераторов в сельскохозяйственном производстве и особенности их эксплуатации.

### **Тема 9. Водонагреватели**

В этой теме следует остановиться на изучении типов газовых водонагревателей, области их применения в сельском хозяйстве, автоматики регулиро-

вания температуры воды и автоматики безопасности.

## **Тема 10. Газовые отопительные приборы**

В сельскохозяйственном производстве в качестве источников теплоты в системах местного отопления широко используются газовые отопительные приборы. Изучите конкретные области использования газовых отопительных приборов, в том числе газовых горелок инфракрасного излучения (ГИИ), их устройство. Принцип работы, особенности эксплуатации; расчет количества горелок для обогрева помещения; определение расхода газа.

### *Вопросы для самопроверки*

#### Тема 1

1. Дайте классификацию котельных установок по назначению, производительности, параметрам пара, организации движения пароводяной смеси.
2. Что входит в состав основного и вспомогательного оборудования?
3. Нарисуйте и объясните принципиальную тепловую схему котельной установки.

#### Тема 2

1. Что входит в состав котельного агрегата? Объясните назначение основных элементов котлоагрегата (пароперегревателя, экономайзера и воздухоподогревателя).
2. Назовите основные типы котлоагрегатов, используемых в сельском хозяйстве страны. Приведите их характеристики.

#### Тема 3

1. Напишите уравнение теплового баланса котлоагрегата и объясните, что означают его составляющие и от чего зависят.
3. Чем отличается КПД брутто от КПД нетто?
4. Как определить часовой расход топлива?
5. Что такое условное топливо?
6. Что показывает испарительная способность топлива?
7. Как выбрать температуру уходящих газов?

#### Тема 4

1. Назовите основные способы сжигания топлива.
2. Назовите типы слоевых топок и область их применения по производительности котельного агрегата.
3. Какие системы пылеприготовления вам известны? Назовите основные элементы систем пылеприготовления.
4. Приведите принципиальные схемы устройства горелок и форсунок для сжигания газа и жидкого топлива и объясните принцип работы.
5. Какие приблизительно значения имеют тепловые напряжения топочного объема для камерных и слоевых топок? Что ограничивает допустимые тепловые напряжения топочного объема и зеркала горения?

## Тема 5

1. Какие требования предъявляются к питательной воде?
2. Укажите состав примесей в сырой воде.
3. Назовите основные способы водоподготовки.

## Тема 6

1. В каких случаях применяется естественная тяга и в каких искусственная? Значение тяги.
2. Напишите расчетные уравнения для определения высоты дымовой трубы при естественной тяге, производительности дутьевого вентилятора и дымососа.
3. Приведите классификацию золоулавливающих и золоудаляющих устройств.

## Тема 7

1. Перечислите основные меры, принимаемые для удаления золовых осадений на хвостовых поверхностях котлоагрегата.
2. Назовите основные средства борьбы с коррозией хвостовых поверхностей нагрева.
3. Приведите причины возникновения накипеобразования в паровых котлах и меры, принимаемые для ее предотвращения.
4. Какие существуют способы очистки дымовых газов?
5. Какие требования предъявляются к средствам автоматизации котельных установок?
6. Перечислите основные положения техники безопасности при эксплуатации котельных установок.

## Тема 8

1. Какие агрегаты принято называть теплогенераторами?
2. Опишите основные типы теплогенераторов, их характеристики, принцип работы.
3. Нарисуйте принципиальную схему теплогенератора и объясните его устройство.
4. Каковы основные правила техники безопасности при эксплуатации теплогенераторов?

## Тема 9

1. Перечислите основные типы водонагревателей и области их применения в сельскохозяйственном производстве.
2. Нарисуйте схему емкостного автоматического газового водонагревателя (АГВ); объясните его устройство.

## Тема 10

1. Где в сельскохозяйственном производстве используются газовые отопительные приборы?
2. Нарисуйте схему горелки инфракрасного излучения; объясните ее устройство; приведите методику определения количества горелок для обогрева помещения.

## 3.2 КОМПРЕССОРЫ

### Тема 1. Компрессорные машины

Для перемещения рабочего тела и повышения его давления применяют компрессорные машины. Их широко используют для наддува поршневых ДВС и особенно в газотурбинных установках. Рабочий процесс идеального поршневого компрессора изучался в технической термодинамике. Здесь следует ознакомиться с устройством и рабочими процессами реальных машин, усвоить их классификацию, назначение, области использования. Следует разобраться в причинах применения различных типов компрессорных машин – поршневых, центробежных, осевых и др.; в определении работы, расходуемой на сжатие и подачу воздуха, производительности и потребной мощности для привода, КПД компрессора.

Обратите внимание на устройство компрессорных станций и их эксплуатацию, технику безопасности.

#### *Вопросы для самопроверки*

##### Тема 1

1. Приведите классификацию компрессоров и объясните принцип их действия.
2. Опишите работу и устройство поршневого одноступенчатого компрессора. Приведите и объясните его действительную индикаторную диаграмму и действительную производительность; работу, затрачиваемую на сжатие.
3. Для чего используются компрессорные машины многоступенчатого сжатия?
4. Перечислите основные КПД компрессора.
5. Напишите и объясните формулу для определения мощности, потребляемой компрессором.
6. Объясните сущность процессов сжатия в центробежной и осевой турбомашине; покажите схемы ступеней и треугольники скоростей на входе и выходе из рабочего колеса.
7. Что такое помпаж и как его предотвратить?
8. Каковы особенности последовательной и параллельной работы вентиляторов в сети?

## 3.3 ТЕПЛОФИЗИКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Условия теплообмена на внутренней поверхности производственных помещений существенно отличаются от условий в жилых домах и промышленных зданиях.

Необходимо ознакомиться с особенностями теплового и влажностного режима сельскохозяйственных производственных сооружений, с совокупностью факторов, обуславливающих тепловую обстановку в помещении, с ролью лу-

чистого и конвективного теплообмена.

Уясните, чем определяется конвективный теплообмен в помещении. Обратите внимание на различную природу свободной и вынужденной конвекции, на сложный теплообмен в помещении, на его особенности в сельскохозяйственных производственных сооружениях.

В ограждающих конструкциях сельскохозяйственных сооружений встречаются замкнутые воздушные прослойки. Изучите теплообмен в ограниченной воздушной прослойке.

### **Тема 1. Теплопередача через ограждающие конструкции**

Ознакомьтесь с основными теплофизическими характеристиками строительных материалов и почвы, с их влаго- и воздухопроницаемостью. При изучении темы следует учесть влияние влажности, плотности, структуры и температуры материалов и их теплофизические характеристики.

Теплопередачу через ограждающие конструкции можно вести с учетом и без учета воздухопроницаемости. Уясните смысл полного сопротивления теплопередаче отражения. Обратите внимание на особенности подсчета потерь теплоты через пол и через прозрачные ограждения.

Изучите особенности тепловосприятости полов различных конструкций. Уясните значение теплоустойчивости помещения и влияние на нее колебаний тепловых потоков и теплофизических характеристик материалов.

*Вопросы для самопроверки*

#### Тема 1

1. Как влияет учет воздухопроницаемости на расчет теплопередачи через ограждающие конструкции?

2. В чем заключаются особенности теплопередачи через пол и через прозрачные ограждения?

3. Какое значение имеет теплоустойчивость помещения и как на нее влияют колебания тепловых потоков и теплофизических характеристик материалов?

## **3.4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ**

### **Тема 1. Отопление и вентиляция**

Обратите внимание на роль отопления в обеспечении оптимальных условий микроклимата в помещении, в преобразовании быта и условий труда. Изучите назначение и классификацию систем отопления коммунально-бытовых и производственных помещений; расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха. Рассмотрите составляющие теплового баланса при расчете количества теплоты, потребной для отопления. Ознакомьтесь с методикой расчета расходной части теплового баланса – потерь теплоты через ограждающие конструкции; с методикой введения в расчетные формулы поправочных коэф-

фициентов; с методикой определения тепловых потерь зданиями по удельным тепловым характеристикам.

Изучите типы и характеристики нагревательных приборов и их назначение. Уясните методику выбора отопительных приборов и определение их поверхности нагрева.

Рассмотрите назначение систем вентиляции в обеспечении оптимальных условий микроклимата, принцип действия, классификацию и основное оборудование. Ознакомьтесь с методиками расчета расхода воздуха на вентиляцию в различные периоды года для удаления вредных выделений (избытков теплоты и влаги, газов) и аэродинамического расчета воздухораспределительных сетей. Изучите назначение и типы калориферов, методику подбора калориферов и расчета их поверхности.

## **Тема 2. Кондиционирование воздуха**

Ознакомьтесь с назначением и сущностью кондиционирования, с системами кондиционирования, их классификацией; схемами установок летнего и зимнего кондиционирования; изображением процессов их работы в *Hd* диаграмме; методами подсчета температуры приточного и удаляемого воздуха. Изучите принципиальную конструкцию кондиционера и систему автоматического регулирования.

## **Тема 3. Горячее водоснабжение**

Горячая вода в условиях сельского хозяйства поступает от центральных или местных источников теплоты. Изучите общие вопросы: классификацию систем горячего водоснабжения, цели и задачи горячего водоснабжения, принципиальные схемы, основы расчета систем горячего водоснабжения, требования к параметрам и качеству воды.

### *Вопросы для самопроверки*

#### Тема 1

1. Приведите классификацию систем отопления коммунально-бытовых и производственных зданий.
2. Из каких статей складывается потребный расход теплоты для отопления жилого здания?
3. Из каких статей складываются поправочные коэффициенты на тепловые потери через ограждающие конструкции здания?
4. Как определить потери теплоты здания по приближенным показателям?
5. Что такое удельная тепловая характеристика здания и от чего она зависит?
6. Напишите расчетные уравнения, используемые для определения поверхности нагрева отопительных приборов.
7. Дайте классификацию систем вентиляции.
8. Напишите уравнение для определения расхода воздуха на вентиляцию

по вредным выделениям.

9. Опишите методику подбора пароводяных калориферов.

### Тема 2

1. Приведите классификацию систем кондиционирования воздуха.
2. Нарисуйте схему кондиционирования помещения с частичной рециркуляцией воздуха.
3. Как определяются параметры смеси влажного воздуха двух состояний (аналитически и графически с использованием *Hd* диаграммы)?
4. Изобразите в *Hd* диаграмме процессы кондиционирования воздуха для летнего и зимнего периодов.
5. Как определяется температура приточного воздуха (аналитически и графически с использованием *Hd* диаграммы)?

### Тема 3

1. Дайте классификацию систем горячего водоснабжения.
2. Какие требования предъявляются к параметрам и качеству воды систем горячего водоснабжения?
3. Опишите методику расчета систем горячего водоснабжения.

## **3.5 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ**

### **Тема 1. Использование теплоты для обеспечения оптимальных условий микроклимата в помещениях**

Изучение темы следует начать с уяснения роли оптимального микроклимата на фермах и комплексах в росте продуктивности животных и птиц; ознакомления с требованиями, предъявляемыми к микроклимату, с параметрами микроклимата, источниками тепло-, газа- и влаговыделений, с нормами воздухообмена. На животноводческих фермах значительную долю теплоты в тепловом балансе составляет биологическая теплота, выделяемая животными.

Ознакомьтесь с особенностями расчета систем отопления и вентиляции для ферм и комплексов; уясните, из каких статей складываются балансовые уравнения, характеризующие энергетический режим помещения.

Расчет воздухообмена производится по предельно допустимой концентрации углекислоты, аммиака, водяных паров и теплоты в помещении. Обратите особое внимание на угловой коэффициент теплообмена в помещении и использование его для определения температуры приточного воздуха. Изучите схемы отопительно-вентиляционных систем, сущность и методику применения испарительного охлаждения, условия применения газовых инфракрасных излучателей для отопления, основы автоматического регулирования микроклимата животноводческих и птицеводческих помещений.

Материал темы рекомендуется для методической разработки.

## **Тема 2. Технологическое потребление теплоты**

Изучите потребителей теплоты на технологические нужды (кормоприготовление, пастеризация, поение животных и птиц, санобработка), их особенности, оборудование, расчет теплоснабжения.

Обратите внимание на особенности горячего водоснабжения ферм и комплексов.

### *Вопросы для самопроверки*

#### Тема 1

1. Какие требования предъявляются к микроклимату на животноводческих и птицеводческих фермах?

2. В чем заключаются особенности расчета систем отопления и вентиляции для животноводческих и птицеводческих помещений?

3. Из каких статей складываются балансовые уравнения, характеризующие энергетический режим помещения?

4. Что характеризует коэффициент тепловлагообмена и как он определяется?

5. Как графически с помощью углового коэффициента определяется температура приточного воздуха на фермах для трех периодов года?

6. Нарисуйте известные вам схемы вентиляции ферм крупного рогатого скота.

7. В каких случаях на животноводческих фермах применяются газовые инфракрасные излучатели?

8. Назовите основные элементы системы автоматического регулирования микроклимата животноводческих и птицеводческих помещений.

#### Тема 2

1. Опишите потребителей теплоты на технологические нужды, их оборудование.

2. В чем заключаются особенности горячего водоснабжения ферм и комплексов?

3. Как рассчитывается теплоснабжение на технологические нужды?

## **3.6 ОБОГРЕВ СООРУЖЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА**

Ознакомьтесь с типами теплиц и парников, их конструкциями и конструктивными характеристиками, основными данными теплотехнического оборудования и покрытий.

Обратите внимание на различные виды обогрева — солнечный, биологический, технический, на виды технического обогрева (водяной, воздушный, паровой, газовый), на схемы теплопроводов, на тепловой расчет культивационного сооружения. Уделите внимание особенностям расчета отопления и вентиляции в весенне-летний периоды, системам автоматического регулирования теплового режима (поддержание заданной температуры воздуха и поч-

вы, влажности и содержания углекислоты) в культивационных сооружениях.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. В чем заключаются особенности расчета теплового баланса культивационного сооружения? Дайте характеристику его составляющих.
2. Нарисуйте основные схемы теплиц и приведите их характеристики.
3. Нарисуйте схему установки для увлажнения и охлаждения воздуха в теплице и дайте ее описание.
4. Опишите схему автоматического регулирования микроклимата в культивационном сооружении.

### **3.7 СУШКА ПРОДУКТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

При изучении раздела следует учесть, что в связи с всевозрастающим производством основного продукта сельского хозяйства – зерна, уборка которого очень часто совпадает с периодом дождей, особое значение приобретает искусственная сушка. Студенту необходимо уяснить, что такое сушка, изучить способы сушки сельскохозяйственных продуктов, классификацию сушильных установок, особенности влажного материала и сушильного агента, основы теории сушки. При этом необходимо обратить внимание на формы связи влаги с материалом, на тепломассообмен в процессе сушки, используемые технологии и тепловые режимы сушки различных сельскохозяйственных продуктов, допустимые температуры нагрева зерна и семян. Наибольшее распространение в сельскохозяйственном производстве нашей страны получили конвективные сушилки, использующие теплоту горячего воздуха или смеси воздуха с топочными газами, поэтому уделите им главное внимание. Разберитесь в принципиальных схемах, тепловом расчете конвективных сушилок, изучите и сравните изображение теоретического и действительного процессов сушки в *Hd* диаграмме. В процессе последующего после сушки охлаждения материала происходит дополнительное испарение некоторого количества влаги. Расчет процесса охлаждения во многом аналогичен расчету процесса сушки в сушильной камере. Ознакомьтесь с расчетом процесса охлаждения материала и изображением его в *Hd* диаграмме. Изучите основы автоматизации процессов сушки.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Какие способы сушки вы знаете?
2. Какие существуют формы связи влаги с материалом?
3. Какими движущими силами определяется перенос влаги внутри материала?
4. Нарисуйте принципиальную схему конвективной сушилки и напишите для нее уравнение материального и теплового баланса.
5. Изобразите действительный процесс сушки в конвективной сушилке в

*Hd* диаграмме и сравните его с теоретическим процессом сушки.

6. Почему в теоретической сушилке энтальпия теплоносителя в процессе сушки остается постоянной?

7. Приведите методику расчета процесса охлаждения материала и изобразите процесс охлаждения в *Hd* диаграмме.

8. Назовите допустимые температуры нагрева семенного и продовольственного зерна.

9. Опишите основные элементы системы автоматизации процессов сушки в конвективных сушилках.

### **3.8 ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

В настоящее время сельское хозяйство, наряду с естественными, широко использует искусственные способы охлаждения продуктов. Изучите потребителей холода, основные способы охлаждения (естественные и искусственные) и их физическую сущность. Ознакомьтесь с основными хладагентами, используемыми в циклах, их свойствами и параметрами.

Рассмотрите принципы работы и особенности охлаждения паровыми компрессионными, абсорбционными и парозжекторными холодильными установками; уясните действительный цикл паровых компрессионных холодильных машин и определение действительной холодопроизводительности.

Изучение принципа машинного охлаждения следует начать с рассмотрения обратного цикла Карно, после чего сопоставить его с действительным циклом компрессионных машин. Обратите внимание на значение процессов переохлаждения и дросселирования холодильного агента, на сухой ход компрессора в действительном цикле. Далее следует остановиться на изучении типов холодильных машин и аппаратов, применяемых в сельском хозяйстве.

Целесообразно также рассмотреть перспективы использования тепловых насосов в сельскохозяйственном производстве.

В отличие от холодильных машин тепловые насосы представляют собой повышающие теплотрансформаторы (компрессионные и термоэлектрические), использующие теплоту низкого потенциала для теплоснабжения. Разберитесь в принципиальных схемах использования теплового насоса в технологических схемах.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Какие способы охлаждения вам известны? В чем сущность машинного способа охлаждения?

2. Чем действительный цикл компрессионной холодильной машины отличается от обратного цикла Карно?

3. Нарисуйте схему простейшей паровой компрессионной холодильной машины и дайте анализ ее термодинамического цикла в *Ts* диаграмме. Какое значение имеют переохлаждение хладагента и сухой ход компрессора?

4. Приведите общую методику расчета холодильников и выбора холодильного оборудования.

5. Нарисуйте схему использования теплового насоса для отопления сельскохозяйственного объекта и проанализируйте ее.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

В соответствии с индивидуальным заданием студент должен решить шесть (по профилю Электрооборудование и электротехнологии, по направлению 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника по профилю Электроснабжение) или пять (по направлению 35.03.06 – Агроинженерия по профилю Технические системы в агробизнесе и, по направлению 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов по профилю Автомобили и автомобильное хозяйство) задач. Данные для решения задач выбираются студентом из таблиц по шифру. Каждую задачу следует решать сразу после изучения соответствующей темы или раздела курса, что способствует закреплению пройденного материала. Перед выполнением расчета следует ознакомиться с решением аналогичной задачи по учебной литературе.

При выполнении задания необходимо соблюдать следующие требования:

а) выписать условие задачи и исходные данные;

б) решение задач сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором должно быть указано, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу и откуда они берутся (из условия задачи, из справочника или были определены ранее и т. д.);

в) вычисления давать в развернутом виде, при использовании компьютерной техники рекомендуется записать алгоритм и программу, использованную для расчетов;

г) проставлять размерности всех заданных и расчетных величин в международной системе СИ. Решение может быть выполнено и в технической системе, но окончательный результат, а также и наиболее важные промежуточные вычисления должны быть выражены в системе СИ;

д) графический материал следует выполнять четко и в масштабе;

е) после решения каждой задачи должен быть произведен краткий анализ полученных результатов и сделаны соответствующие выводы.

Студенту рекомендуется научиться путем сопоставления оценивать достоверность полученных численных данных. В конце работы необходимо дать перечень использованной литературы, указать дату окончания выполнения задания и расписаться.

Контрольные работы, выполненные не по своему индивидуальному заданию, к рассмотрению не принимаются.

## ЗАДАЧИ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Задача № 1

(к теме 10 раздела 1, по направлению 35.03.06 – Агроинженерия по профилю Электрооборудование и электротехнологии, по направлению 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника по профилю Электроснабжение и по направлению 35.03.06 – Агроинженерия по профилю Технические системы в агробизнесе, по направлению 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов по профилю Автомобили и автомобильное хозяйство)

Для теоретического цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с изохорно-изобарным подводом теплоты определить параметры состояния  $P$ ,  $v$ ,  $T$  характерных точек цикла, полезную работу и термический КПД по заданным значениям начального давления  $p_1$  и температуры  $t_1$  степени сжатия  $\varepsilon$ , степени повышения давления  $k$  и степени предварительного расширения  $\rho$ . Рабочим телом считать воздух, полагая теплоемкость его постоянной. Изобразить цикл ДВС в  $p-v$  и  $Ts$  диаграммах. Сравнить термический КПД цикла с термическим КПД цикла Карно, проведенного в том же интервале температур  $t_1-t_4$ . Данные для решения задачи выбрать из таб. 1.

Ответить на вопрос:

1. Как влияют параметры цикла ( $\varepsilon$ ,  $k$ ,  $\rho$ ) на термический КПД?

Таблица 1

Последняя цифра шифра	$p_1$ , кПа	$t_1$ , °С	Предпоследняя цифра шифра	$\varepsilon$	$k$	$\rho$
0	95	40	0	16	1,5	1,5
1	98	30	1	13	1,6	1,4
2	96	25	2	14	1,5	1,4
3	97	27	3	15	1,7	1,3
4	98	17	4	16	1,4	1,6
5	100	25	5	17	1,5	1,6
6	96	30	6	18	1,6	1,3
7	97	40	7	19	1,7	1,2
8	98	27	8	16	1,5	1,4
9	96	17	9	18	1,6	1,3

## Задача № 2

(к теме 11 раздела 1, по направлению 35.03.06 – Агроинженерия по профилю Электрооборудование и электротехнологии, по направлению 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника по профилю Электроснабжение)

Расход газа в поршневом одноступенчатом компрессоре составляет  $V_1$  при давлении  $p_1 = 0,1$  МПа и температуре  $t_1$ . При сжатии температура газа повышается на  $200$  °С. Сжатие происходит по политропе с показателем  $n$ . Определить конечное давление, работу сжатия и работу привода компрессора, количество отведенной теплоты, а также теоретическую мощность привода компрессора. Исходные данные, необходимые для решения задачи, выбрать из таблицы 2.

Указание. При расчете принять  $k = c_p/c_v = const$ .

Ответить на вопросы:

1. Как влияет показатель политропы на конечное давление при выбранном давлении  $p_1$  и фиксированных  $t_1$  и  $t_2$  (ответ иллюстрируйте в  $Ts$ -диаграмме)?
2. Чем ограничивается  $p_2$  в реальном компрессоре (кроме ограничения по максимально допустимой конечной температуре)?

Таблица 2

Последняя цифра шифра	$V_1$ , м <sup>3</sup> /мин	$t_1$ , °С	Предпоследняя цифра шифра	Газ	$n$
0	20	0	0	Воздух	1,35
1	25	7	1	He	1,45
2	30	10	2	O <sub>2</sub>	1,32
3	35	12	3	N <sub>2</sub>	1,33
4	40	15	4	CO	1,35
5	45	17	5	N <sub>2</sub>	1,34
6	50	20	6	O <sub>2</sub>	1,29
7	55	22	7	He	1,50
8	60	25	8	CO <sub>2</sub>	1,28
9	65	30	9	Воздух	1,32

### Задача № 3

(к теме 12 раздела 1.1, по направлению 35.03.06 – Агроинженерия по профилю Электрооборудование и электротехнологии, по направлению 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника по профилю Электроснабжение)

Показать сравнительным расчетом целесообразность применения пара высоких начальных параметров и низкого конечного давления на примере паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина, определив располагаемое теплопадение, термический КПД цикла и удельный расход пара для двух различных значений начальных и конечных параметров пара. Указать конечное значение степени сухости  $x_2$  (при давлении  $p_2$ ). Изобразить схему простейшей паросиловой установки и дать краткое описание ее работы. Данные для решения задачи выбрать из таблицы 3.

Указание. Задачу надо решать с помощью  $h_s$  диаграммы.

Ответить на вопрос:

1. Какие существуют пути повышения экономичности цикла (помимо изменения начальных и конечных параметров пара)?

Таблица 3

Последняя цифра шифра	Параметры пара I варианта			Предпоследняя цифра шифра	Параметры пара II варианта		
	$P_1$ , МПа	$t$ , °C	$P_2$ , кПа		$P_1$ , МПа	$t$ , °C	$P_2$ , кПа
0	1,5	250	80	0	8,0	480	3
1	2,0	300	70	1	9,0	480	4
2	2,5	325	90	2	10,0	500	4
3	2,0	350	100	3	11,0	520	4
4	2,5	375	110	4	12,0	530	5
5	3,0	350	90	5	12,0	540	3
6	3,5	370	80	6	13,0	550	4
7	3,0	400	70	7	14,0	560	4
8	4,0	425	90	8	14,0	580	5
9	4,5	400	100	9	15,0	600	5

### Задача № 4

(к теме 3 раздела 2, по направлению 35.03.06 – Агроинженерия по профилю Электрооборудование и электротехнологии, по направлению 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника по профилю Электроснабжение)

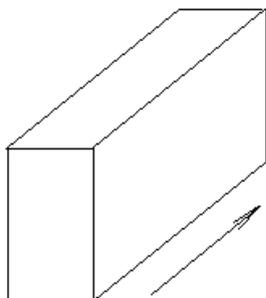


Рис. 1.

Электрошина сечением  $100 \times 10 \text{ мм}^2$  и удельным сопротивлением  $\rho$ , установленная на ребро, охлаждается свободным потоком воздуха, температура которого  $t_{\text{ж}}$ . При установившейся электрической нагрузке температура электрошины не должна превышать  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вычислить коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ , величину теплового потока, теряемого в окружающую среду, если длина электрошины  $l$ , и допустимую

силу тока. Данные, необходимые для решения задачи выбрать из таб. 4.

*Указание.* Для расчета коэффициента теплоотдачи в условиях естественной конвекции пользоваться зависимостью вида

$$Nu = B(GrPr)^n \left( \frac{Pr}{Pr_c} \right)^{0,25}$$

Значения коэффициента  $B$  и показателя степени  $n$ , в зависимости от произведения  $Gr Pr$  приведены в таблице 5.

Таблица 4

Последняя цифра шифра	$t_{\text{ж}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$\rho, (\text{ом}\cdot\text{мм}^2)/\text{м}$	Предпоследняя цифра шифра	$l, \text{ м}$
0	10	0,0283	0	1
1	12	0,0270	1	2
2	16	0,0260	2	3
3	18	0,0250	3	4
4	20	0,0240	4	5
5	22	0,0290	5	6
6	24	0,0292	6	7
7	26	0,0300	7	8
8	28	0,0310	8	9
9	30	0,0320	9	10

Таблица 5

$Gr Pr$	Вертикальная поверхность		Горизонтальная поверхность
	$10^3 - 10^9$	$> 10^9$	$10^3 - 10^3$
B	0,76	0,15	0,50
n	1/4	1/3	1/4

Ответить на вопросы:

1. Укажите последовательность определения коэффициента теплоотдачи.
2. Как выбирают определяющий размер при расчете чисел подобия?

### Задача № 5

(к теме 7 раздела 2, по направлению 35.03.06 – Агроинженерия по профилю Электрооборудование и электротехнологии, по направлению 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника по профилю Электроснабжение, по направлению 35.03.06 – Агроинженерия по профилю Технические системы в агробизнесе, по направлению 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов по профилю Автомобили и автомобильное хозяйство)

Определить поверхность нагрева стального рекуперативного водо-воздушного теплообменника (толщина стенок  $\delta_{ст} = 3$  мм) при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителей, если объемный расход воздуха при нормальных условиях  $V_{н}$ , средний коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности нагрева  $\alpha_1$ , от поверхности нагрева к воде  $\alpha_2 = 5000$  Вт/(м<sup>2</sup> К), начальные и конечные температуры воздуха и воды равны соответственно  $t_1'$ ,  $t_1''$ ,  $t_2'$  и  $t_2''$ . Определить также расход воды  $G$  через теплообменник. Изобразить график изменения температур теплоносителей для обеих схем при различных соотношениях их условных эквивалентов. Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из таблицы 6.

Указание: При решении задачи можно условно считать стенку плоской.

Таблица 6

Последняя цифра шифра	$10^{-3} V_{н}$ , м <sup>3</sup> /ч	$\alpha_1$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)	Предпоследняя цифра шифра	$t_1'$ , °С	$t_1''$ , °С	$t_2'$ , °С	$t_2''$ , °С
0	15	70	0	500	250	10	90
1	20	60	1	480	240	15	95
2	25	75	2	450	230	20	100
3	50	45	3	440	210	25	105
4	45	65	4	420	200	30	110
5	40	55	5	409	180	35	115
6	35	50	6	380	160	40	120
7	30	40	7	360	130	45	120
8	55	35	8	340	140	50	130
9	10	30	9	320	120	15	100

Ответить на вопросы:

1. Какая схема движения теплоносителя выгоднее?
2. Покажите (из рассмотрения формулы), какими способами можно увеличить коэффициент теплопередачи.
3. При каких значениях  $d_2/d_1$  (близких к единице или гораздо больших единицы) цилиндрическую стенку можно в расчетах заменить без больших погрешностей плоской стенкой?

### Задача № 6

(к 2 – 4 темам раздела 3.1, 35.03.06 – *Агроинженерия по профилю Технические системы в агробизнесе, по направлению 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов по профилю Автомобили и автомобильное хозяйство*)

По заданному топливу и паропроизводительности  $D$  котельного агрегата выбрать тип топки и коэффициент избытка воздуха  $\alpha_T$ . Рассчитать теоретически необходимое количество воздуха для горения 1 кг ( $1 \text{ м}^3$ ) топлива, составить тепловой баланс котельного агрегата и определить его КПД (брутто). Рассчитать часовой расход натурального и условного топлива (непрерывной продувкой пренебречь). Вид топлива, давление  $p_{н.п}$  и температуру  $t_{н.п}$  перегретого пара, температуру питательной воды  $t_{н.в}$  и величину потерь теплоты с уходящими газами  $q_2$  принять по таблицы 3.

*Указание.* Состав топлива, рекомендации по выбору топки, величины отдельных членов теплового баланса взять из приложения, см. позиции 1 – 7.

**Таблица 7**

Последняя цифра шифра	Тип топлива	Предпоследняя цифра шифра	$D$ , т/ч	$P_{н.п}$ , МПа	$t_{н.п}$ , °С	$t_{н.в}$ , °С	$q_2$ , %
0	Газ из газопровода «Саратов – Москва»	0	9	1,0	260	110	6,0
1	Кузнецкий уголь Д (длиннопламенный)	1	16	1,0	240	115	5,6
2	Экибастузский уголь СС (слабоспекающийся)	2	21	1,4	270	120	5,2
3	Донецкий уголь Г (газовый)	3	3,2	1,4	260	115	4,8
4	Газ из газопровода «Карбулак – Грозный»	4	10	1,4	240	80	7,8
5	Мазут высокосернистый	5	20	1,4	250	100	7,6
6	Канско-Ачинский уголь Б2 (бурый)	6	15	2,1	370	90	7,4
7	Кизеловский уголь	7	20	2,1	380	100	7,2

	Г (газовый)						
8	Газ из газопровода «Бухара – Урал»	8	3,3	0,7	200	110	6,8
9	Нижне–Аркагалинский уголь Д (длиннопламенный)	9	7,5	0,7	210	100	6,5

Ответить на вопросы:

1. От чего зависит коэффициент избытка воздуха в топке  $\alpha_T$ ?
2. Как влияют на потерю теплоты с уходящими газами значения коэффициента избытка воздуха  $\alpha_{yx}$  и температура уходящих газов  $t_{yx}$ ?

### Задача № 7

(к разделам 3.1, 3.3, 3.4, 35.03.06 – *Агроинженерия по профилю Технические системы в агробизнесе, по направлению 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов по профилю Автомобили и автомобильное хозяйство*)

Определить суммарное теплотребление сельского поселка, расположенного в Московской области, состоящего из  $m$  малоэтажных жилых зданий, с объемом здания  $V$  и числом жителей в здании  $N$ . Суммарное теплотребление коммунально-бытовых и производственных зданий  $Q_{\Sigma \text{ к.б+пр.з}}$  животноводческой фермы  $Q_{\Sigma \text{ ж.ф}}$ . Рассчитать максимальную теплопроизводительность котельной, выбрать тип и марку котлов и определить их количество. Данные для решения задачи выбрать из таблицы 8.

Ответить на вопросы:

1. В каких случаях экономически оправдано централизованное теплоснабжение?
2. Какими достоинствами и недостатками обладает открытая система горячего водоснабжения?

**Таблица 8**

Последняя цифра шифра	$m$	$V, \text{ м}^3$	$N, \text{ чел.}$	Предпоследняя цифра шифра	$Q_{\Sigma \text{ ж.ф}}, \text{ кВт}$	$Q_{\Sigma \text{ к.б+пр.з}}, \text{ кВт}$
0	4	2800	85	0	500	600
1	4	2460	40	1	400	500
2	4	1650	27	2	300	400
3	10	2460	40	3	700	900
4	8	1650	27	4	600	800
5	14	1240	22	5	800	1000
6	14	2460	40	6	1000	1500
7	12	1240	22	7	600	700
8	12	2460	40	8	900	1400

9	20	1650	27	9	750	1200
---	----	------	----	---	-----	------

### Задача № 8

(к теме 1, раздела 3.5, по направлению 35.03.06 – *Агроинженерия по профилю Технические системы в агробизнесе*, по направлению 23.03.03 – *Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов по профилю Автомобили и автомобильное хозяйство*).

Определить кратность вентиляции и подобрать калориферную установку для калориферов КФБ для свинарника на  $n$  голов со средней массой  $m$  кг. Объем помещения для животных  $V$  м<sup>3</sup>. Расчетные параметры наружного воздуха: температура  $t_n^p$ , относительная влажность  $\varphi_n$  (таб. 9). Параметры внутреннего воздуха:  $t_b=16$  °С,  $\varphi_b=75\%$ . Допустимое содержание CO<sub>2</sub> в помещении 2,5 л/м<sup>3</sup>. Коэффициент, учитывающий испарение влаги с мокрых поверхностей  $\xi=1,12$ . Расчетная температура наружного воздуха при проектировании вентиляции  $t_n^p=-23$  °С. Концентрация углекислоты в наружном воздухе 0,4 л/м<sup>3</sup>. Температура нагретого воздуха на выходе их из калорифера  $t_k$ . Теплоноситель: перегретая вода, горячая с  $t_r=150$  °С и обратная  $t_o=70$  °С. Массовую скорость воздуха для калориферов принять равной 7 – 10 кг/(м<sup>2</sup> с).

**Таблица 9**

Последняя цифра шифра	$n$ , голов	$m$ , кг	$V$ , м <sup>3</sup>	Предпоследняя цифра шифра	$t_n^p$ , °С	$\varphi_n$ , %	$t_k$ , °С
0	270	100	1500	0	-28	78	10
1	280	140	1600	1	-29	80	12
2	290	180	1700	2	-39	82	14
3	300	200	1800	3	-31	84	16
4	310	240	1900	4	-32	86	18
5	320	150	2000	5	-33	88	20
6	330	100	2100	6	-34	86	22
7	340	150	2200	7	-33	84	24
8	350	120	2300	8	-32	82	26
9	360	210	2400	9	-27	80	28

Ответить на вопросы:

1. Что показывает кратность вентиляции?
2. Как увеличить коэффициент теплопередачи калориферов?

### Задача № 9

(к разделу 3.7, 35.03.06 – *Агроинженерия по профилю Технические системы в агробизнесе*, по направлению 23.03.03 – *Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов по профилю Автомобили и автомобильное хозяйство*)

Определить количество испаренной влаги  $W$ , потребное количество влаж-

ного воздуха  $L$  и расход теплоты на сушку  $Q$  для конвективной зерносушилки производительностью  $G_{1s}$ , если начальное значение относительной влажности зерна  $W_{01}$  и конечное  $W_{02}$ , влагосодержание и температура воздуха на входе в сушилку  $d_1$  и  $t_1$ , на выходе  $d_2$  и  $t_2$ , температура наружного воздуха  $t_0 = 15$  °С. Изобразить процесс сушки в  $Hd$  диаграмме. Данные для решения задачи выбрать из таб. 10.

*Ответить на вопрос:*

1. Как и почему процесс, изображающий в  $Hd$  диаграмме подготовку смеси продуктов сгорания с воздухом, отличается от изображения процесса нагревания атмосферного воздуха в калорифере?

**Таблица 10**

Последняя цифра шифра	$G_{1s}$ , кг/ч	$d_1$ , кг/(кг с.в.)	$t_1$ , °С	$d_2$ , кг/(кг с.в.)	$t_2$ , °С	Предпоследняя цифра шифра	$W_{01}$ , %	$W_{02}$ , %
0	800	0,004	178	0,044	55	0	18	13
1	1000	0,006	175	0,046	60	1	20	14
2	1200	0,008	180	0,048	65	2	22	15
3	1400	0,010	185	0,050	70	3	24	16
4	1600	0,012	190	0,052	75	4	26	18
5	1800	0,014	195	0,054	80	5	19	12
6	2000	0,016	170	0,062	70	6	21	13
7	4000	0,018	180	0,056	75	7	23	14
8	6000	0,020	185	0,058	65	8	25	15
9	8000	0,012	190	0,050	70	9	20	16

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Элементарный состав рабочей массы некоторых твердых и жидких топлив

Уголь		Марка	Состав, %								Нижшая теплота сгорания МДж/кг $Q_{нр}$	Выход летучих веществ на горючую массу, $V_r$ , %
район месторождения	бассейн, месторождение		$W^p$	$A^p$	$S_{кp}$	$S_{орp}$	$C^p$	$H^p$	$N^p$	$O^p$		
Донецкий бассейн	—	Г	8,0	23,0	2,0	1,2	55,2	3,8	1,0	5,8	22,0	40
То же	—	Д	13,0	21,8	1,5	1,5	49,3	3,6	1,0	8,3	19,6	44
Кузнецкий бассейн	—	Д	12,0	13,2	0,3		58,7	4,2	1,9	9,7	22,8	42
То же	—	Г	8,5	11,0	0,5		66,0	4,7	1,8	7,5	26,1	40
Казахстан	Карагандинский	К	8,0	27,6	0,8		54,7	3,3	0,8	4,8	21,3	28
То же	Экибастузский	СС	7,0	38,1	0,4	0,4	43,4	2,9	0,8	7,0	16,7	30
Тульская обл.	Подмосковный	Б2	32,0	25,2	1,5	1,2	28,7	2,2	0,6	8,6	10,4	50
Респуб. Коми	Печорский	Ж	5,5	23,6	0,8		59,6	3,8	1,3	5,4	23,7	33
Пермская обл.	Кизеловский	Г	6,0	31,0	6,1		48,5	3,6	0,8	4,0	19,7	42
Челябинская обл.	Челябинский	Б3	18,0	29,5	1,0		37,3	2,8	0,9	10,5	13,9	45
Грузия	Ткибульский	Г	13,0	27,0	0,7	0,6	45,4	3,5	0,9	8,9	17,9	45
Красноярский край	Канско-Ачинский	Б2	33,0	6,0	0,2		43,7	3,0	0,6	13,5	15,7	48
Иркутская обл.	Черемховский	Д	13,0	27,0	1,1		45,9	3,4	0,7	8,9	17,9	47
Хабаровский край	Райчихинское	Б2	37,5	9,4	0,3		37,7	2,3	0,6	12,2	12,7	43
САХА	Чульмаканское	Ж	7,5	23,1	0,3		59,0	4,1	1,0	5,0	23,2	38
Магаданская обл.	Нижне-Аркагалинское	Д	16,5	9,2	0,3		59,1	4,1	1,0	9,8	22,9	40
<b>Мазуты</b>												
Малосернистый		—	3,0	0,05	0,3		84,65	11,7	—	0,3	40,3	—
Сернистый		—	3,0	0,1	1,4		83,8	11,2	—	0,5	39,7	—
Высокосернистый		—	3,0	0,1	2,8		83,0	10,4	—	0,7	38,8	—

## 2. Расчетные характеристики некоторых природных газов

Название газопроводов	Состав газа по объему, %							Низшая теплота сгорания сухого газа, МДж/м <sup>3</sup>
	CH <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	
Саратов—Москва	84,5	3,8	1,9	0,9	0,3	7,8	0,8	35,8
Ставрополь—Москва	93,8	2,0	0,8	0,3	0,1	2,6	0,4	36,1
Дашава—Киев	98,9	0,3	0,1	0,1	—	0,4	0,2	35,9
Шебелинка—Москва	94,1	3,1	0,6	0,2	0,8	1,2	—	37,9
Газли—Ташкент	94,0	2,8	0,4	0,3	0,1	2,0	0,4	36,3
Карабулак—Грозный	68,5	14,5	7,6	3,5	1,0	3,5	1,4	45,8
Ставрополь—Грозный	98,2	0,4	0,1	0,1	—	1,0	0,2	35,6
Бухара—Урал	94,9	3,2	0,4	0,1	0,1	0,9	0,4	36,7
Средняя Азия—Центр	93,8	3,6	0,7	0,2	0,4	0,7	0,6	37,6

## 3. Типы топок, рекомендуемые для котельных агрегатов

Вид топлива	Паро-производительность, т/ч	Рекомендуется
Каменный уголь	≤ 10	Топка с забрасывателем и неподвижным слоем
	15 ÷ 35	Топка с забрасывателем и цепной решеткой
Бурый уголь (с W <sup>n</sup> ≤ 4,7, т. е. кроме сильновлажных)	≤ 10	Топка с забрасывателем и неподвижным слоем
	15 ÷ 35	Топка с забрасывателем и цепной решеткой
Мазут и газ	При всех значениях	Камерная топка

Примечание. В этой и следующих таблицах приведенная влажность топлива –

$$W^n = \frac{W^p}{Q_n^p} = \frac{\%}{\text{МДж/кг}}; \text{ приведенная зольность топлива – } A^n = \frac{A^p}{Q_n^p} = \frac{\%}{\text{МДж/кг}}$$

#### 4. Основные расчетные характеристики камерных топок

Тип топки	Наименование топлива	Коэффициент избытка воздуха в топке $\alpha_m$	Потери теплоты от химической неполноты сгорания $q_3$ , %	Тепловое напряжение объема топки, кВт/м <sup>3</sup>
Камерные для сжигания жидких и газообразных топлив, экранированные	Мазут	1,15	0,5	290
	Газ (смесительные горелки)	1,1	0,5	350
	Газ (безфакельные горелки при $D \leq 20$ т/ч)	1,1	0,5	до 870

#### 5. Основные расчетные характеристики слоевых топок

Наименование величины и ее обозначение	Топки с забрасывателем и неподвижным слоем			Топки с забрасывателем и цепной решеткой		
	бурые угли		каменные угли $A^n = 1,0$	бурые угли		каменные угли $A^n = 1,0$
	малозольные $A^n = 1,5$	повышенной зольности $A^n = 2,4$		малозольные $A^n = 1,5$	повышенной зольности $A^n = 2,4$	
Коэффициент избытка воздуха в топке, $\alpha$ .....	1,4 – 1,5	1,4 – 1,5	1,4 – 1,5	1,3 – 1,4	1,3 – 1,4	1,3 – 1,4
Потеря от химической неполноты сгорания $q_0$ , %	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0
Потеря от механической неполноты сгорания $q_4$ , %	5 – 7	8 – 9	6 – 10	5 – 6	6 – 7	5 – 6

Тепловое напряжение объема топки, кВт/м <sup>3</sup>	230 – 350			300 – 470		
Тепловое напряжение зеркала горения, кВт/м <sup>2</sup>	930 – 1150	800 – 1050	930 – 1150	1600	1300	1150

### 6. Потери теплоты на наружное охлаждение котлоагрегата в зависимости от паропроизводительности

Паропроизводительность котлоагрегата $D$ , т/ч	Потери теплоты на наружное охлаждение, $q_5$ , %
6,5	2,2
10	1,8
12	1,6
20	1,3
25	1,2
34	1,1

### 7. Количество углекислоты и вредных паров, выделяемых свиньями

Живая масса, кг	Количество выделяемых на одну голову	
	углекислоты, л/ч	водяных паров, г/ч
100	47	132
200	63	175
300	83	230

### 8. Основные технические характеристики калориферов КФБ

Номер калорифера	Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	Живое сечение, м <sup>2</sup>	
		по воздуху	по теплоносители
2	12,7	0,115	0,0061
3	16,9	0,154	0,0082
4	21,4	0,195	0,0082
5	26,8	0,244	0,0102
6	32,4	0,295	0,0102
7	38,9	0,364	0,0122

8	45,7	0,416	0,0122
9	53,3	0,486	0,0143
10	61,2	0,558	0,0143
11	69,9	0,638	0,0163

### 9. Коэффициенты теплопередачи калориферов КФБ [Вт/(м<sup>2</sup> К)]

Скорость воды, м/с	Массовая скорость $v\rho$ , кг/(м <sup>2</sup> с)			
	7	8	9	10
0,02	15,1	15,8	16,5	17,0
0,04	16,9	17,7	18,5	17,1
0,06	17,3	18,0	18,7	19,4
0,08	18,2	19,2	19,8	20,6
0,10	19,2	20,1	20,9	21,9
0,20	22,2	23,6	24,5	25,7
0,30	23,6	25,0	26,2	27,4
0,40	25,2	26,6	27,1	29,5

## Библиографический список

### Основной

1. *Рудобаишта С.П.* Теплотехника. М.: Издательство «Перо», 2015. 665 с
2. *Нащокин В.В.* Техническая термодинамика и теплопередача. Учебник. М.: «Книга по Требованию». 2013. 496 с.
3. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. М.: «Книга по Требованию», 2012. 460 с.

### Дополнительный

1. *Александров А.А., Орлов К.А., Очков В.Ф.* Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. М.: Изд-во МЭИ, 2009, 224 с.
2. *Александров, А.А.* Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. [текст] 2-е изд., стер. М.: Изд-во МЭИ. 2006.- 158 с.
3. *Александров, А.А. и др.* Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Справочник. Под общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. [текст]- 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МЭИ. 2001. - 564 с.
4. *Амерханов, Р.А., Бессараб, А.С., Драганов, Б.Х., Рудобаишта, С.П., Шишко, Г.Г.* Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства. Под ред. д-ра техн. наук Б.Х. Драганова. [текст] М.: Колос Пресс. 2002. – 424 с.
5. *Андреанова, Т.Н. и др.* Сборник задач по технической термодинамике. [текст] М.: Изд-во МЭИ. 2000. – 240 с.
6. *Бахшиева, Л.Т., Кондауров, Б.П., Захарова, А.А., Салтыкова, В.С.* Техническая термодинамика и теплотехника. Под ред. профессора А.А. Захаровой. [текст] 2-изд., исправ. М.: Изд. центр «Академия». 2008. – 272 с.
7. *Богословский, В.Н.* Строительная теплофизика. Теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. [текст] Изд. 3-е. Изд-во «АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД». 2006. – 399 с.
8. *Круглов, Г.А., Булгакова, Р.И., Круглова, Е.С.* Теплотехника. [текст] С.-П. – М. - Краснодар: Изд-во «ЛАНЬ». 2010. - 208 с.
9. *Кудинов, В.А., Карташов, Э.М.* Техническая термодинамика. [текст] М.: Высшая школа. 2005. - 262 с.
10. *Ляшков, В.И.* Теоретические основы теплотехники. [текст] М.: Высшая школа. 2008. – 319 с.