

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**А. Э. Суслов**

## **ТЕПЛОНАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ В ОТРАСЛЯХ АПК**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки  
Технологические машины и оборудование

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2022

Суслов, А. Э.

Теплонасосные установки в отраслях АПК: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. Технологические машины и оборудование / А. Э. Суслов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 35 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины Теплонасосные установки в отраслях АПК представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям, отражены рекомендации для выполнения контрольной работы студентами заочной формы обучения.

Табл. 4, рис. 5, список лит. – 3 наименования

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 5 мая 2022 г., протокол № 5

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 18 января 2022 г., протокол № 1

УДК 621.56

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2022 г.  
© Суслов А. Э., 2022 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	8
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	13
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	30
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	33
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	34

## ВВЕДЕНИЕ

Пищевая промышленность является крупным потребителем низкотемпературной тепловой энергии, которая может рационально расходоваться на проведение ряда технологических процессов, таких как пастеризация и стерилизация, сушка, вяление и копчение, варка и бланширование и т.п.

Сушка пищевых продуктов играет существенную роль в сельском хозяйстве и отраслях пищевой промышленности, оказывая влияние на качество сохраняемого и выпускаемого продукта, а также на уровень энергоемкости, так как 50–70 % всех энергозатрат приходится на обработку продукта. В большинстве технологических линий обработки пищевых продуктов сушку производят в атмосфере высокотемпературного сушильного агента (нагретый до температур порядка 100 °С и выше воздух или топочный газ). При этом отвод влаги из продукта в сушильный агент обеспечивается практически при постоянной скорости сушки. Но для многих видов пищевых продуктов взаимодействие с высокотемпературным сушильным агентом приводит к резкому снижению качества готового продукта (потеря формы, карамелизация, денатурация белков и др.) и потере многих составляющих (ароматика, ферменты, витамины и др.), а в ряде случаев – к полной утрате свойств (жизнестойкость злаковых и семян).

За последние годы в ряде индустриально развитых стран используют низкотемпературную сушку пищевых продуктов, при которой требуемые параметры воздуха – температура и относительная влажность, – обеспечиваются при его обработке в испарителе ТНУ.

Таким образом, для эффективной деятельности в условиях современного производства инженерно-техническим работникам необходимо знание особенностей конструкции и оборудования ТНУ, а промышленные предприятия нуждаются в специалистах, способных эффективно эксплуатировать данное оборудование.

Дисциплина «Теплонасосные установки в отраслях АПК» относится к модулю «Энергосбережение в технологических процессах пищевых производств / Теплонасосные установки в отраслях АПК» ОПОП ВО по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Целью освоения дисциплины «Теплонасосные установки в отраслях АПК» является формирование знаний, умений и навыков, необходимых в профессиональной деятельности бакалавра в области энергосбережения в технологических процессах пищевых производств, осуществляемых с использованием теплонасосных установок.

Задачи изучения дисциплины:

- освоение основных понятий, методов и средств в области энергосбережения в технологических процессах пищевых производств, осуществляемых с использованием теплонасосных установок;
- формирование навыков в проведении тепловых и конструктивных расчетов, связанных с проектированием теплонасосных установок и систем с их использованием;
- формирование навыков работы с различными источниками информации, анализа и обобщения необходимых сведений, связанных с выбором энергосберегающих мероприятий в технологических процессах пищевых производств.

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны:

Знать:

- основные процессы и принцип работы оборудования теплонасосных установок;
- методику расчета машин и аппаратов теплонасосных установок при заданных параметрах и тепловых нагрузках;
- основные понятия о теоретических и действительных термодинамических циклах работы теплонасосных установок;
- методы проектирования систем с использованием теплонасосных установок;
- основные технологические и производственные процессы пищевых производств, в которых рационально использование теплонасосных установок.

Уметь:

- пользоваться методическими и нормативными материалами, техническими условиями и стандартами при расчете и проектировании теплонасосных установок;
- выполнять расчеты машин и аппаратов теплонасосных установок при заданных параметрах и тепловых нагрузках для различных технологических и производственных процессов пищевых производств;
- представлять пути интенсификации процессов и совершенствования аппаратов теплонасосных установок.

Владеть:

- способами интенсификации процессов и совершенствования аппаратов теплонасосных установок.

Дисциплина «Теплонасосные установки в отраслях АПК» относится к модулю «Энергосбережение в технологических процессах пищевых производств / Теплонасосные установки в отраслях АПК» блоку I части образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование, формируемой участниками образовательных отношений и является дисциплиной по выбору.

При реализации дисциплины «Теплонасосные установки в отраслях АПК» организуется практическая подготовка путем проведения практических (лабораторных) работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Знания, умения и навыки, полученные при освоении данной дисциплины, используются в дальнейшей профессиональной деятельности.

Для успешного освоения дисциплины «Теплонасосные установки в отраслях АПК», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены практические задания. Решение практических задач, обучающимися проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем.

Промежуточная аттестация по завершению курса проводится в виде зачета, к которому допускаются студенты, освоившие темы курса, выполнившие практические работы.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства поэтапного формирования результатов освоения;
- оценочные средства для промежуточной (заключительной) аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины относятся:

- выполнение контрольной работы (для заочной формы обучения);
- задания к практическим работам.

К оценочным средствам для промежуточной (заключительной) аттестации по дисциплине, проводимой в форме зачета, соответственно относятся:

- вопросы к зачету.

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (таблица 1).

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые курсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Теплонасосные установки в отраслях АПК» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям, организации самостоятельной работы студентов. Материал пособия содержит рекомендации по написанию контрольной работы для студентов заочной формы обучения.

## **1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Осваивая курс «Теплонасосные установки в отраслях АПК», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области тепловых насосов, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции и практические занятия.

При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет студентам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При подготовке лекционного материала преподаватель обязан руководствоваться рабочей программой по дисциплине. При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в университете.

Вместе с тем, всякий лекционный курс является в определенной мере авторским, представляет собой творческую переработку материала и неизбежно отражает личную точку зрения лектора на предмет и методы его преподавания. В этой связи представляется целесообразным привести некоторые общие методические рекомендации по построению лекционного курса и формам его преподавания.



Лекции составляют основу теоретической подготовки и посвящены наиболее важным моментам по применению теплонасосных установок в отраслях АПК. При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, применять методы, способствующие активизации познавательной деятельности слушателей. На лекциях целесообразно теоретический материал иллюстрировать рассмотрением различных примеров и конкретных задач. Имеет смысл привлекать студентов к обсуждению как рассматриваемого вопроса в целом, так и отдельных моментов рассуждений и доказательств. Необходимо также использовать возможности проблемного изложения, дискуссии с целью активизации деятельности студентов.

Практические занятия проводятся для закрепления основных теоретических положений курса и реализации их в практических расчетах, формирования и развития у студентов мышления в рамках будущей профессии.

На практических занятиях следует добиваться точного и адекватного владения теоретическим материалом и его применения для решения задач.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа обучающихся. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов, как в отсутствие преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь студентам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Необходимо контролировать степень усвоения студентами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

При изучении курса предусмотрены следующие формы текущего контроля:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях.

Промежуточный контроль осуществляется в форме сдачи зачета и имеет целью определить степень достижения учебных целей по дисциплине.

С целью формирования мотивации и повышения интереса к предмету особое внимание при чтении курса необходимо обратить на темы, которые можно проиллюстрировать примерами из практической сферы, связывая теоретические положения с будущей профессиональной деятельностью студентов.

Тематический план лекционных занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура лекционных занятий

Номер темы	Содержание лекционного занятия	Количество часов ЛЗ	
		очная форма	заочная форма
1	Термодинамические основы тепловых насосов	2	1
2	Расчет и подбор оборудования теплонасосных сушильных установок	3	2
3	Отопительные теплонасосные установки	3	1
4	Применение теплонасосных установок в аквакультуре	2	1
5	Перспективные направления применения ТНУ	2	1
<b>Итого</b>		<b>12</b>	<b>6</b>

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

### **Тема 1. Термодинамические основы тепловых насосов**

*Ключевые вопросы темы:* классификация ТН, компрессионные, ресорбционные, абсорбционные ТН.

*Ключевые понятия:* типы тепловых насосов.

*Литература:* [1, с. 93–94, 147–154].

#### *Методические рекомендации*

Первая тема курса дисциплины позволит обучающимся получить представление о базовых понятиях дисциплины, в ней также определяется место изучаемого материала в системе научного знания и его взаимосвязь с другими дисциплинами.

При изучении данной темы курса необходимо обратить особое внимание на правильную интерпретацию содержания вводимых понятий при классификации тепловых насосов. Необходимо освоить классификацию тепловых насосов. Понять, по каким признакам они классифицируются. Рассмотреть источники теплоты для ТН.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Как классифицируют ТН по виду подведенной энергии?
2. Принцип работы абсорбционного теплового насоса?

3. Как классифицируют ТН по виду источника и приемника теплоты?
4. Как классифицируют ТН по области применения?
5. Принцип работы компрессионного теплового насоса.
6. Какие источники теплоты могут использовать ТН?

## **Тема 2. Расчет и подбор оборудования теплонасосных сушильных установок**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Применение компрессионных тепловых насосов в сушильных установках.

*Ключевые понятия:* процесс сушки, определение размеров и производительности камеры, расчет ТНУ для сушки и вяления рыбы. Изоляция сушильных камер

*Литература:* [1, с. 213–248].

### *Методические рекомендации*

При освоении данной темы курса необходимо рассмотреть принцип работы ТН в составе сушильной установки. Рассмотреть методику определения размеров и производительности сушильной камеры. Методику расчета ТНУ для сушки и вяления рыбы. Рассмотреть методику расчета толщины изоляции сушильной камеры.

### *Вопросы для самоконтроля*

1. Какое назначение изоляции камер?
2. Что такое пористость системы сушильной камеры?
3. Какое назначение воздухоохладителя в составе сушильной установки?
4. Какое назначение воздушного конденсатора в составе сушильной установки?
5. Какой тип ТН используют в составе сушильной установки?

## **Тема 3. Отопительные теплонасосные установки**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Отопительные установки на базе тепловых насосов.

*Ключевые понятия:* источники теплоты для ТН для целей отопления, отопительные установки на базе тепловых насосов. Потoki и сопряжения энергии внутри и вне здания. Коллекторы. Открытые и закрытые системы

*Литература:* [1, с. 159–164].

### *Методические рекомендации*

В изучаемой теме необходимо рассмотреть источники теплоты для ТН, применяемых для отопления. Рассмотреть потоки и сопряжения энергии внутри

и вне здания. Рассмотреть конструкции приемников теплоты для отопительных установок на базе тепловых насосов.

*Вопросы для самоконтроля*

1. Какие источники теплоты для ТН для целей отопления вы можете назвать?
2. Какие коллекторы применяют для приемников теплоты?
3. Что такое открытые и закрытые системы?
4. Какие потоки и сопряжения энергии существуют внутри и вне здания?

#### **Тема 4. Применение теплонасосных установок в аквакультуре**

*Ключевые вопросы темы*

1. Схемы теплонасосных установок, применяемых в аквакультуре.

*Ключевые понятия:* установки замкнутого водообеспечения (УЗВ), источники теплоты для УЗВ. Схемы теплонасосных установок для УЗВ

*Литература:* [1, с. 202–212].

*Методические рекомендации*

При изучении вопросов рассматриваемой темы обучающимся необходимо уделить внимание конструкции и составу установки замкнутого водообеспечения. Их назначению и преимуществу. Изучить схемы для теплообеспечения УЗВ. Изучить методы инженерных расчетов ТНУ для УЗВ.

*Вопросы для самоконтроля*

1. Расскажите какие источники теплоты можно использовать для ТНУ в составе УЗВ?
2. Опишите назначение элементов УЗВ?
3. Опишите схему ТНУ для УЗВ с использованием сбросовой воды из УЗВ?
4. Опишите схему ТНУ для УЗВ с использованием внешнего источника теплоты?
5. Опишите схему ТНУ для УЗВ с использованием внешнего источника теплоты с промежуточным теплоносителем?

#### **Тема 5. Перспективные направления применения теплонасосных установок**

*Ключевые вопросы темы*

1. Перспективные направления применения теплонасосных установок.

*Ключевые понятия:* использование ТНУ в процессах сушки, комбинированная выработка теплоты и холода, пастеризация молока, созревание сыров, производство горячей воды для мойки оборудования, производство пива.

*Литература:* [1, с. 179–201].

### *Методические рекомендации*

При изучении вопросов рассматриваемой темы обучающимся необходимо рассмотреть примеры применения ТНУ в различных технологических процессах пищевых производств: сушки, комбинированная выработка теплоты и холода, пастеризация молока, созревание сыров, производство горячей воды для мойки оборудования, производство пива.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Приведите пример применения ТНУ в процессах сушки.
2. Приведите пример применения ТНУ в процессах комбинированной выработки теплоты и холода.
3. Приведите пример применения ТНУ в процессах пастеризации молока.
4. Приведите пример применения ТНУ в процессах производства горячей воды для мойки оборудования.
5. Приведите пример применения ТНУ в процессах созревания сыров.
6. Приведите пример применения ТНУ в процессах производства пива.

## **2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков расчета и подбора машин и аппаратов для пищевых производств.

Практические занятия по дисциплине «Теплонасосные установки в отраслях АПК» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, связанных с темой практического занятия.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объем (трудоёмкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия	Количество часов ПЗ	
		очная форма	заочная форма
1	Построение рабочего цикла одноступенчатого хладонового теплового насоса с регенеративным теплообменником и его расчет	4	2
2	Расчет затрат тепла на камеры холодного копчения и вяления рыбы	18	2
3	Расчет и подбор оборудования системы воздухоподготовки теплонасосной сушильной установки (ТНСУ) для вяления рыбы	-	-
4	Расчет и подбор оборудования системы подогрева подпитывающей воды для установки замкнутого водообеспечения предприятий аквакультуры	-	-
<b>Итого</b>		<b>22</b>	<b>4</b>

Студент должен выполнить расчеты оборудования и ответить на вопросы преподавателя.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1**

*Цель работы:* Научиться строить рабочий цикл одноступенчатого хладонового теплового насоса с регенеративным теплообменником и производить его расчет.

*Теоретический материал:*

Одноступенчатый хладоновый тепловой насос состоит из компрессора, конденсатора, регенеративного теплообменника, регулирующего вентиля и испарителя. Эти части соединены между собой трубопроводами в замкнутую систему, в которой благодаря работе компрессора циркулирует хладон.

В испаритель И поступает жидкий хладон (рисунок 1). При давлении  $p_{0и}$  соответствующей температуре  $t_{0х}$  хладагент кипит за счет отводимого тепла от источника низкопотенциальной теплоты или окружающей среды. Образовавшиеся пары холодильного агента поступают в регенеративный теплообменник, где перегреваются за счет теплообмена с жидким хладоном, выходящим из конденсатора. Перегретый пар всасывается компрессором КМ и сжимается до высокого давления  $p_k$ , при этом его температура значительно повышается.

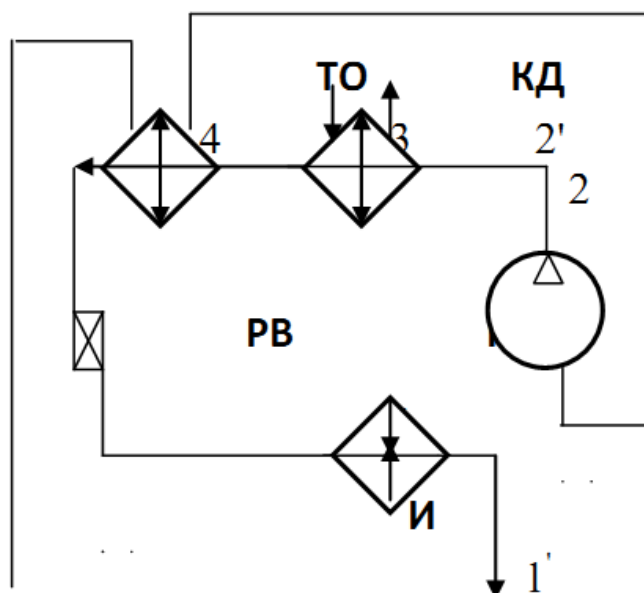


Рисунок 1 – Схема одноступенчатой хладонового теплового насоса с регенеративным теплообменником

Таким образом, за счет затраченной работы в компрессоре теплота, воспринятая хладагентом от объекта, поднимается на более высокий температурный уровень  $t_k$ . В конденсаторе КД перегретые после сжатия в компрессоре пары сначала охлаждаются до температуры конденсации (водой или воздухом), а затем отдают нагреваемому объекту (теплоносителю – воде или воздуху) скрытую теплоту парообразования, в результате чего насыщенные пары хладагента превращаются в жидкость.

В регенеративном теплообменнике ТО температура жидкого холодильного агента понижается до  $t_{10}$  при давлении  $p_k$ , отдавая теплоту парам холодильного агента, выходящим из испарителя, нагревая их до температуры всасывания.

В регулирующем вентиле РВ при прохождении через отверстие малого диаметра происходит дросселирование жидкого холодильного агента его давление снижается от высокого давления конденсации  $p_k$  до низкого давления кипения  $p_0$  в испарителе. Процесс дросселирования сопровождается понижением температуры холодильного агента. Дросселирующий вентиль, кроме того, регулирует подачу холодильного агента в испаритель, поскольку в испаритель надо подавать столько жидкости в единицу времени, сколько успеет ее выкипеть и в виде паров всасывается компрессором.

Расчет цикла теплового насоса с регенеративным теплообменником, т. е. определение параметров холодильного агента и тепловой расчет основных процессов обычно выполняют графическим методом с помощью термодинамической диаграммы « $i - \lg p$ ».

Последовательными стадиями расчета графическим методом являются: установление исходных условий и величин, необходимых для расчета; нанесение холодильного цикла на диаграмму; определение параметров хладагента в характерных точках цикла и собственно тепловой расчет цикла.

*Исходные данные:*

- температура кипения  $t_o$ , °С (принять 5 °С);
- температура конденсации  $t_k$ , °С (принять 40 °С);
- холодильный агент – хладон 404А (R 404А или R 134а);
- диаграмма «  $i - \lg p$  ».

*Содержание работы:*

1. Построить рабочий цикл одноступенчатого хладонового теплового насоса с регенеративным теплообменником, работающего на хладоне 404А или R134а.

2. Определить значения следующих величин для узловых точек цикла и записать их в таблицу:

- $p$  – давление, МПа;
- $t$  – температуру, °С;
- $v$  – удельный объем, м<sup>3</sup>/кг;
- $i$  – энтальпию, кДж/кг.

3. Рассчитать основные параметры цикла:

- $q_o$  – удельную массовую холодопроизводительность, кДж/кг;
- $q_k$  – теплоту, отведенную от 1 кг холодильного агента в конденсаторе, кДж/кг;
- $q_{то}$  – теплоту, отведенную от 1 кг холодильного агента в регенеративном теплообменнике, кДж/кг;
- $l_o$  – работу, затраченную на адиабатное сжатие 1 кг холодильного агента, кДж/кг;
- $\mu$  – коэффициент преобразования энергии.

*Порядок выполнения работы:*

*1. Построение рабочего цикла*

1.1. По диаграмме «  $i - \lg p$  » хладона 404А или R134а в состоянии насыщения определить:

$$p_o = f(t_o), \text{ МПа} \quad p_k = f(t_k), \text{ МПа}$$

1.2. Определить температуру всасывания компрессора:

$$t_{bc} = t_o + (20 \dots 30) \text{ } ^\circ\text{С}.$$



1.3 Через все области диаграммы провести две изобары  $p_o = \text{const}$  и  $p_k = \text{const}$ . На пересечении изобары  $p_o = \text{const}$  с линией  $x=1$  получим точку 1' (рисунок 2).

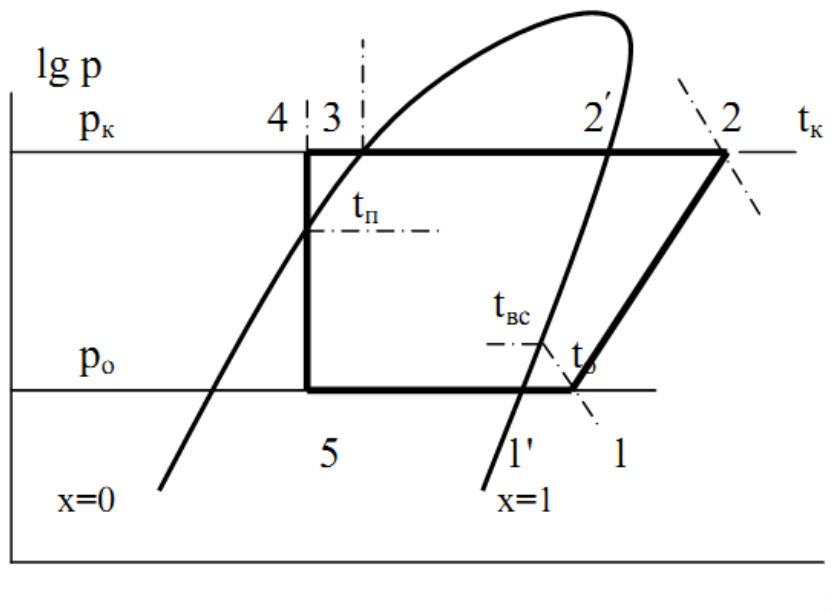


Рисунок 2 – Рабочий цикл одноступенчатого хладонового теплового насоса с регенеративным теплообменником

1.4 На пересечении изотермы  $t_{вс} = \text{const}$  с изобарой  $p_o = \text{const}$  в области перегретого пара получим точку всасывания пара **1**.

1.5 Через точку **1** провести линию  $s = \text{const}$  до пересечения с изобарой  $p_k = \text{const}$ . Получим точку **2**.

1.6 Двигаясь влево по изобаре  $p_k = \text{const}$  до пересечения с линией  $x=1$ , получим точку **2'**, на пересечении данной изобары с линией  $x=0$  получим точку **3**.

1.7 Для определения положения точки **4** необходимо составить уравнение теплового баланса для регенеративного теплообменника: количество теплоты, подведенной к пару холодильного агента, равно количеству теплоты, отведенному от жидкого холодильного агента, т. е.

$$i_1 - i_{1'} = i_3 - i_4,$$

откуда

$$i_4 = i_3 - i_1 + i_{1'}.$$

Определив значение энтальпии  $i_4$ , строим точку **4** в области переохлажденной жидкости на пересечении с изобарой  $p_k = \text{const}$ .

1.8 Из точки **4** опустить перпендикуляр ( $i = \text{const}$ ) до пересечения с изобарой  $p_o = \text{const}$ . Получим точку **5**.

Построение цикла завершено. Значения узловых точек цикла занести в таблицу.

Номер точек	$p, \text{МПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{кДж/кг}$
1				
1				
2				
2'				
3				
4				
5				

*Примечание:* Для точек, лежащих на линиях  $x = 0$ , т. е. для точек **2, 2', 3, 4, 5**, значения  $v$  в данной работе не определяется.

## 2. Расчет основных параметров цикла

2.1 Удельная массовая холодопроизводительность 1 кг холодильного агента, кДж/кг:

$$q_0 = i_{1'} - i_5.$$

2.2 Работа, затраченная на адиабатное сжатие 1 кг пара холодильного агента, кДж / кг:

$$\ell_0 = i_2 - i_1.$$

2.3 Теплота, отведенная от 1 кг холодильного агента в конденсаторе, кДж/кг:

$$q_k = i_2 - i_3.$$

2.4 Теплота, отведенная от 1 кг холодильного агента в регенеративном теплообменнике, кДж/кг:

$$q_{\text{ТО}} = i_3 - i_4.$$

2.5 Коэффициент преобразования энергии:

$$\mu = q_k / \ell_0.$$

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

*Цель работы:* Расчет затрат тепла на камеры холодного копчения и вяления рыбы.

*Теоретический материал:*

Экономические показатели работы сушильной установки во многом зависят от тепловых потерь в процессе сушки при приготовлении продукции. Основные потери теплоты в процессе сушки происходят через ограждение камеры вследствие разности температур между температурой в камере и температурой воздуха окружающей среды. Особенно потери теплоты через ограждение будут велики, если установка размещается вне помещения. В этом случае наибольшие потери теплоты будут в зимний период времени. Для уменьшения потерь теплоты ограждение камеры изолируют

высокоэффективными изоляционными материалами. Для тепловой изоляции желательно применять материалы, которые относятся к несгораемым или трудносгораемым. Эти материалы должны иметь малые коэффициенты теплопроводности (таблица 3).

Таблица 3 – Коэффициенты теплопроводности и объемная масса теплоизоляционных и строительных материалов

Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>
Плиты пенопластовые ПСБ-С	0,047	25–40	Бетон	1,0–1,4	2000–2100
Пенопласт ПВХ-1	0,035	70–100	Железобетон	1,4–1,6	2300–2400
Пенобетон	0,15	400–500	Кирпичная кладка	0,93–1,3	1800–2200
Плиты минераловатные	0,085	300	Шлакобетон	0,46–0,7	1200–1500
Гравий керамзитовый	0,2	300–500	Штукатурка цементная	0,88–0,93	1700–1800

Толщину изоляционного слоя (в метрах) ограждения сушильной камеры определяют по формуле:

$$b_{из} = \lambda_{из} [1/k_0 - (1/\alpha_n + \sum b_i/\lambda_i + 1/\alpha_v)],$$

где  $\lambda_{из}$ ,  $\lambda_i$  – коэффициенты теплопроводности изоляционного слоя и строительных материалов, составляющих конструкцию ограждения камеры, Вт/(м·К);  $k_0$  – коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_n$ ,  $\alpha_v$  – коэффициенты теплоотдачи с наружной стороны и внутренней стороны ограждения камеры, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $b_i$  – толщина отдельных слоев конструкции ограждения камеры, м.

Коэффициент теплопередачи ограждения для камер  $k_0$ , расположенных в отапливаемом помещении, принимают в пределах 0,58–0,65 Вт/(м<sup>2</sup>·К). При расположении вне отапливаемых помещений (мобильные установки) – 0,35–0,4 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Коэффициент теплоотдачи от стенки камеры к сушильному агенту  $\alpha_v$  принимают равным 11–12 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Коэффициент теплоотдачи от наружного воздуха к стенкам камеры при расположении камеры вне

помещения принимается равным 23–24 Вт/(м<sup>2</sup>·К), при расположении в помещении – 12–14 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Для стационарных камер коэффициент теплопередачи пола принимают равным 0,7–0,75 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Для мобильных установок – 0,35–0,4 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

### **Расчет затрат тепла для камеры холодного копчения и вяления рыбы**

Суммарные затраты на потери тепла камеры холодного копчения и вяления рыбы с теплонасосной системой воздухоподготовки складываются из потерь тепла в окружающую среду  $Q_{oc}$ , затрат тепла на прогрев сырья после загрузки его в камеру  $Q_m$  и затрат тепла на прогрев транспортных устройств (клетей)  $Q_T$ :

$$\Sigma Q_{\Pi} = Q_{oc} + Q_T + Q_m.$$

Потери тепла в окружающую среду в ваттах рассчитывают по формуле

$$Q_{oc} = k_0 F (t_{кам} - t_{oc}),$$

где  $F$  – площадь ограждения камеры, м<sup>2</sup>;  $t_{кам}$ ,  $t_{oc}$  – температура внутри камеры и наружного воздуха соответственно, °С.

Температура в камере принимается в соответствии с требованиями технологических инструкций (в расчетах принять 35 °С). Температуру наружного воздуха для установок, расположенных в помещении, принимают равной 14–16 °С. Для мобильных установок зимнюю температуру местности, в которой эксплуатируется установка, можно принять  $t_{oc} = -20$  °С.

Затраты тепла на прогрев сырья и транспортных устройств в расчетах ориентировочно составляют (0,1–0,15)  $Q_{oc}$ .

*Содержание работы:*

1. Определить:

- толщину изоляции камеры для холодного копчения рыбы;
- определить потери тепла через ограждение камеры, Вт, приняв размеры камеры (длина-ширина-высота) 14 x 2 x 2,5 м.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3**

*Цель занятия:* выполнить расчет и подбор оборудования системы воздухоподготовки теплонасосной сушильной установки (ТНСУ) для вяления рыбы (рисунок 3).

Теоретический материал:

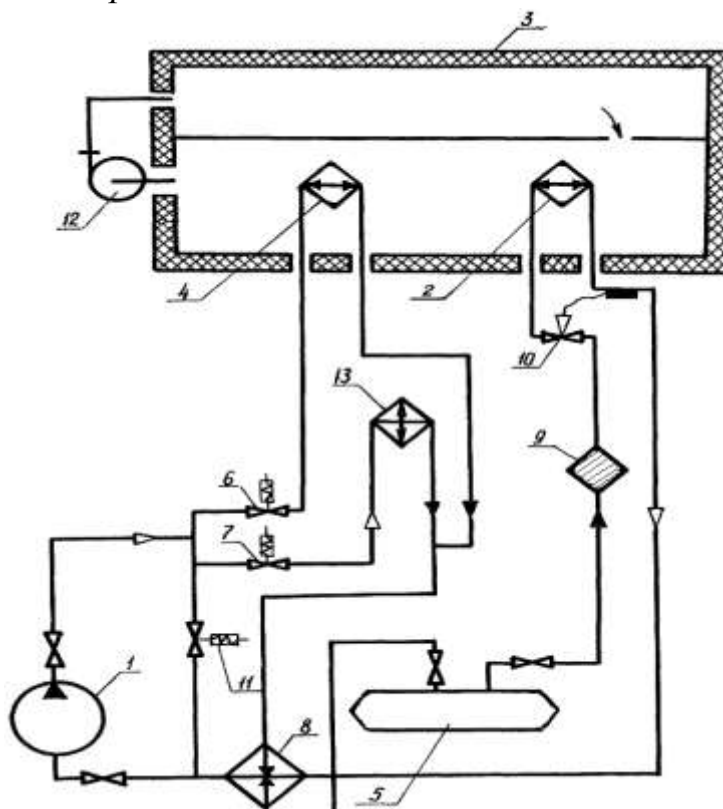


Рисунок 3 – Схема ТНСУ для вяления и сушки рыбы:

- 1 – компрессор ТНУ; 2 – воздухоохладитель; 3 – камера; 4 – основной конденсатор теплонасосной установки (ТНУ); 5 – линейный ресивер;  
6, 7, 11 – электромагнитные вентили; 8 – регенеративный теплообменник ТНУ;  
9 – фильтр-осушитель ТНУ; 10 – терморегулирующий вентиль;  
12 – вентилятор; 13 – дополнительный конденсатор ТНУ

По условиям проектирования установок для копчения и вяления рыбы задаются следующие параметры:

–  $w_1$ ,  $w_2$  – начальная влажность сырья и конечная влажность готовой продукции;

–  $t$ ,  $v$ ,  $\varphi$  – параметры воздуха – температура, скорость и относительная влажность, подаваемого в ТНСУ.

Начальное и конечное влагосодержание рыбы, кг/кг:

$$U_i = w_i/100 - w_i.$$

Масса испаренной в процессе сушки влаги, кг:

$$W = G_2 \cdot (U_1 - U_2) \cdot (100 - w_2)/100,$$

где  $G_2$  – масса готового продукта, кг.

Время сушки, ч:

$$\tau = (U_1 - U_2)/y,$$

где  $y$  – средняя скорость сушки, рассчитывается в зависимости от вида рыбы в расчетах можно принять  $y=0,05 \text{ ч}^{-1}$ .

Масса испаренной влаги в процессе сушки, кг/ч:

$$W_1 = W/\tau.$$

Для выполнения дальнейших расчетов строится цикл обработки воздуха в  $i$ - $d$ -диаграмме влажного воздуха. На диаграмму наносим точку А, соответствующую параметрам воздуха на входе в ТНУ ( $t_1=30 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi=40 \%$ ). Из точки А, проводим линии процессов:

– изменения состояния воздуха в сушильной камере  $i_A=\text{const}$  до пересечения с линией  $\phi=100 \%$ ;

– нагрева воздуха в конденсаторе ТНУ – линию  $d_A=\text{const}$  до пересечения с линией  $\phi=100 \%$  в точке Р.

Приняв температуру поверхности воздухоохладителя (испарителя) ТНУ  $t_E = t_p - (2 - 3)^\circ\text{C}$ , на линии  $\phi=100\%$  и находим точку Е. Проведя касательную к линии  $\phi = 100 \%$  в точке Е на пересечении с линиями  $i_A=\text{const}$  и  $d_A=\text{const}$ , построенными ранее, получаем точки В и С. По диаграмме определяем параметры  $t$ ,  $d$ ,  $\phi$  точек построенного цикла обработки воздуха (А, В, С, Е).

### **Расчет температурного режима работы ТНУ**

В качестве хладагента предпочтительно использовать хладагент R134.

Температура кипения при непосредственной системе охлаждения воздухоохладителя:

$$t_0 = t_E - (1 - 2)^\circ\text{C}.$$

Температура конденсации,  $^\circ\text{C}$ :

$$t_k = t_1 + \theta_k,$$

где  $\theta_k$  – перепад температур в конденсаторе ТНУ,  $^\circ\text{C}$ . Значение  $\theta_k$  принимается в пределах  $6...9 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_1$  – температура воздуха на входе в сушильную камеру,  $^\circ\text{C}$ . В расчетах принять равной  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

На рисунке 4 представлен цикл работы ТНСУ в  $i$ - $d$ -диаграмме влажного воздуха.

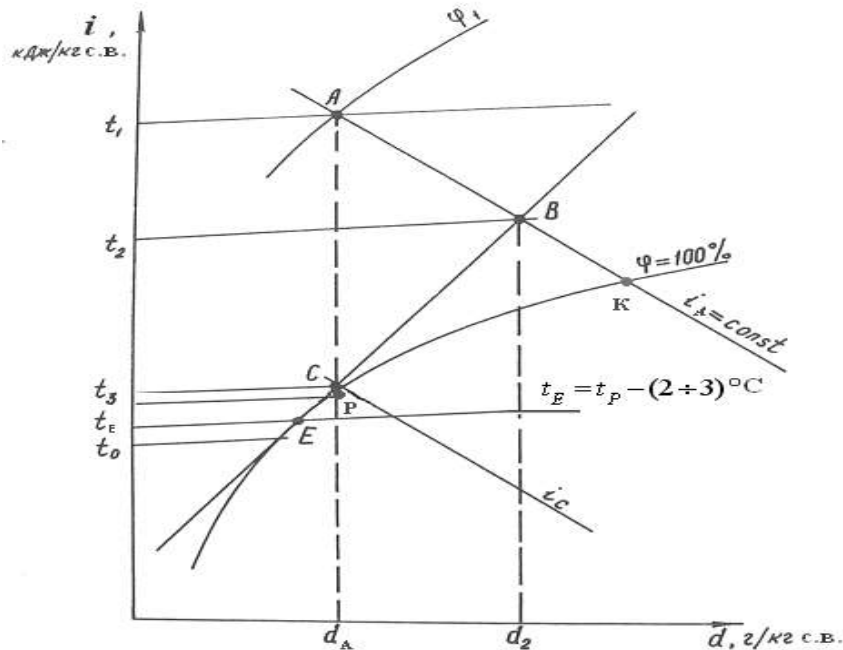


Рисунок 4 – Цикл работы ТНСУ в  $i$ - $d$ -диаграмме влажного воздуха

Температура перегрева паров хладагента на всасывании в компрессор ТНУ:

$$t_{BC} = t_0 + (10^\circ \dots 20^\circ).$$

Холодопроизводительность ТНУ, кВт:

$$Q_0 = c_B M_B \cdot (t_2 - t_3) + W_1 r / 3600,$$

где  $c_B$  – теплоемкость воздуха кДж/(кг·К);  $r$  – удельная теплота парообразования воды при температуре  $t_1$ , кДж/кг ( $r=2440$  кДж/кг при  $t=30^\circ\text{C}$ ).

Масса воздуха, циркулирующая через сушильную камеру, кг/с:

$$M_B = W_1 / 3600 (d_2 - d_1).$$

### Расчет и подбор компрессора ТНУ

Для расчета и подбора компрессора ТНУ на основе данных по температурному режиму процесса сушки строится цикл работы ТНУ в диаграмме  $l$   $gr$ - $i$  для выбранного хладагента (порядок построения цикла рассмотрен в практической работе № 1).

По построенному циклу работы ТНУ можно определить параметры любой точки.

При тепловом расчете ТНУ определяют:

- объём  $V_h$ , описываемый поршнем (по его величине подбирают компрессор),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

- тепловую нагрузку на конденсатор  $Q_k$ , кВт;

- эффективную мощность  $N_e$ , затрачиваемую на валу компрессора, кВт.

Для теплового расчета необходимы следующие исходные данные:

- холодопроизводительность компрессора  $Q_0$ , кВт;
- тип холодильного агента ( R404A или R134);
- режим работы ТНУ ( $t_0$  – температура кипения,  $t_k$  – температура конденсации,  $t_{вс}$  – температура всасывания,  $t_{п}$  – температура переохлаждения).

Порядок определения температурного режима работы ТНУ: температуры кипения холодильного агента  $t_0$ , конденсации  $t_k$ , всасывания  $t_{вс}$  в компрессор, описан выше.

При определении температуры переохлаждения жидкого хладагента  $t_{п}$  (точка 3') следует учесть, что в ТНУ, работающих на хладонах, для перегрева паров, идущих на всасывание в компрессор, и переохлаждения жидкого хладона перед регулирующим вентилем в схеме ТНУ применяют регенеративный теплообменник.

Процесс теплообмена в теплообменнике происходит при постоянном давлении и его можно описать выражением теплового баланса:

$$i_1 - i_1' = i_3 - i_4.$$

Из уравнения теплового баланса определяют энтальпию переохлажденного жидкого холодильного агента и по диаграмме – температуру переохлаждения жидкого хладагента.

Далее выполняют тепловой расчет теплонасосной установки, в ходе которого определяют следующие величины:

1. Удельную массовую холодопроизводительность, кДж/кг:

$$q_0 = i_1' - i_4.$$

2. Энергию, затрачиваемую на адиабатическое сжатие холодильного агента в компрессоре, кДж/кг:

$$I = i_2 - i_1.$$

3. Тепло, отводимое от холодильного агента в конденсаторе, кДж/кг:

$$q_k = i_2 - i_3.$$

4. Уравнение теплового баланса ТНУ, кДж/кг:

$$q = q_0 + I.$$

5. Коэффициент преобразования энергии теоретического цикла:

$$\varepsilon = \frac{q_k}{I}.$$

6. Массовую производительность компрессора, кг/с:

$$G_a = \frac{Q_0}{q_0}.$$

7. Удельную объёмную холодопроизводительность компрессора, кДж/м<sup>3</sup>:

$$q_v = \frac{q_0}{V_1}.$$

8. Объёмную производительность компрессора, м<sup>3</sup>/с:

$$V_g = G_a \cdot V_1 = \frac{Q_0}{q_v}.$$



9. Теоретическую мощность, затрачиваемую на сжатие холодильного агента, кВт:

$$N_T = G_a \cdot I = G_a \cdot (i_2 - i_1).$$

10. Количество теплоты, отводимое от холодильного агента в конденсаторе, так называемую тепловую нагрузку на конденсатор, кВт:

$$Q_k = G_a \cdot q = G_a \cdot (q_0 + I) = G_a \cdot q_0 + G_a \cdot I = Q_0 + N_T .$$

11. Действительный объём, описываемый поршнем компрессора, м<sup>3</sup>/с:

$$V_h = \frac{V_g}{\lambda} .$$

12. Коэффициент подачи компрессора (учитывающий объёмные потери в компрессоре):

$$\lambda = \lambda_i \cdot \lambda_w \cdot \lambda_{пл},$$

где  $\lambda_i$  – индикаторный коэффициент, учитывающий объёмные потери от наличия мертвого пространства и сопротивления в клапанах компрессора.

$$\lambda_i = 1 - C \cdot \left( \frac{P_k}{P_0} - 1 \right),$$

где  $C$  – отношение мертвого пространства к объёму цилиндра; для хладоновых компрессоров  $C=0,03 \div 0,04$ ;  $\lambda_w$  – коэффициент подогрева (учитывающий объёмные потери от теплообмена в цилиндре компрессора):

$$\lambda_w = \frac{T_0}{T_k};$$

$\lambda_{пл}$  – коэффициент, учитывающий неплотности в цилиндрах компрессора; зависит от конструкции и степени износа компрессора:

$$\lambda_{пл} = 0,95 \div 0,98.$$

Для винтовых компрессоров коэффициент подачи определяют по графикам в зависимости от степени сжатия.

1) Коэффициенты, учитывающие энергетические потери в компрессоре:

$\eta_i$  – индикаторный КПД, учитывающий энергетические потери от теплообмена в цилиндре и от сопротивления в клапанах при всасывании и нагнетании:

$$\eta_i = \lambda_w + b \cdot t_0,$$

для хладонов  $b = 0,0025$ ;

$\eta_{мех}$  – механический КПД, равный 0,7–0,9. Большему значению соответствует компрессор большей холодопроизводительности.

КПД передачи;  $\eta_{п}=0,95 \div 1,00$ .

КПД электродвигателя;  $\eta_{эл}=0,8 \div 0,9$ .

2) Мощность электродвигателя компрессора, кВт:

индикаторная мощность, затрачиваемая в действительном процессе сжатия хладагента в компрессоре:

$$N_i = \frac{N_T}{\eta_i};$$

эффективная мощность – мощность на валу компрессора с учетом потерь в цилиндре и потерь при трении:

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_{\text{мех}}};$$

мощность электродвигателя:

$$N_{\text{эл}} = \frac{N_e}{\eta \cdot \eta_{\text{эл}}}.$$

### **Расчет и подбор воздушного конденсатора**

По полученной тепловой нагрузке на конденсатор определяют его и рассчитывают его теплопередающую поверхность, для основного конденсатора, расположенного в камере:

$$F_k = \frac{Q_k}{K \cdot \theta},$$

где  $Q_k$  – тепловая нагрузка на конденсатор, Вт;  $K$  – коэффициент теплопередачи, принимается равным 28...32 Вт/(м<sup>2</sup>К);  $\theta$  – средняя разность температур между холодильным агентом и нагреваемым в конденсаторе воздухом, °С. Для расчетов принимается 8–10 °С.

Площадь поверхности дополнительного конденсатора, расположенного вне камеры:

$$F_{\text{вк}} = \frac{N_e}{K \cdot \theta}.$$

Конденсаторы подбираются по величине площади поверхности по каталогам.

### **Расчет и подбор воздухоохладителя**

Расчет воздухоохладителя сводится к определению теплопередающей поверхности и объема циркулирующего воздуха для подбора вентилятора.

Теплопередающую поверхность определяют по формуле

$$F_B = \frac{Q_0}{K \cdot \theta},$$

где  $Q_0$  – холодопроизводительность воздухоохладителя или компрессора, Вт;  $K$  – коэффициент теплопередачи воздухоохладителя, принимается равным 25...30 Вт/м<sup>2</sup> К;  $\theta = (t_2 - t_3)/2$  – средняя разность температур между циркулирующим воздухом и холодильным агентом, °С.

Для подбора вентилятора определяют объем циркулирующего воздуха:

$$V = Q_0 / \rho_{\text{возд}} (i_2 - i_3),$$

где  $V_{\text{возд}}$  – объем циркулирующего воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $i_2, i_3$  – теплосодержание входящего и выходящего воздуха соответственно, находят по диаграмме  $i$ - $d$  для влажного воздуха;  $\rho_{\text{возд}}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>, определяют по диаграмме или по психрометрической таблице для температуры воздуха, выходящего из воздухоохладителя ( $\rho_{\text{возд}}$  в расчетах можно принять 1,16 м<sup>3</sup>/кг).

### Расчет регенеративного теплообменника

Для расчета регенеративного теплообменника, который применяется только в схемах хладоновых установок, необходимо определить тепловую нагрузку и теплопередающую поверхность.

Тепловая нагрузка на регенеративный теплообменник:

$$Q_{TO} = G_a(i_1 - i_{1'}) = G_a(i_3 - i_4),$$

где  $G_a$  – количество циркулирующего холодильного агента, кг/с;  $i_1$  и  $i_{1'}$  – энтальпии пара, входящего и выходящего из теплообменника, Дж/кг;  $i_3$  и  $i_4$  – энтальпии жидкого хладагента, входящего и выходящего из теплообменника, Дж/кг.

Теплопередающая поверхность теплообменника:

$$F_{TO} = \frac{Q_{TO}}{K \cdot \theta},$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи; для регенеративного теплообменника принимается  $120 \div 180$  Вт/м<sup>2</sup>К;  $\theta$  – средняя разность температур между жидким и парообразным холодильным агентом, °С.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

*Цель занятия:* выполнить расчет и подбор оборудования системы подогрева подпитывающей воды для установки замкнутого водообеспечения предприятий аквакультуры

*Теоретический материал:*

Установки с замкнутым циклом водообеспечения (УЗВ) являются высшей формой промышленного рыбоводства, поскольку позволяют в течение года и на всех этапах производственного процесса создать оптимальные условия для разведения молоди рыбы в целях зарыбления водоемов, так и производства товарной рыбы (рисунок 5).

Целесообразность широкомасштабного развития этого направления промышленного рыбоводства обосновывается экономией воды, забираемой из подземных и других источников (суточная подпитка воды 0,5–15 % от общего объема), экологической чистотой, поскольку есть возможность полной или частичной утилизации продуктов метаболизма рыб и организмов, населяющих биофильтры, и исключения попадания их в открытые водные системы.

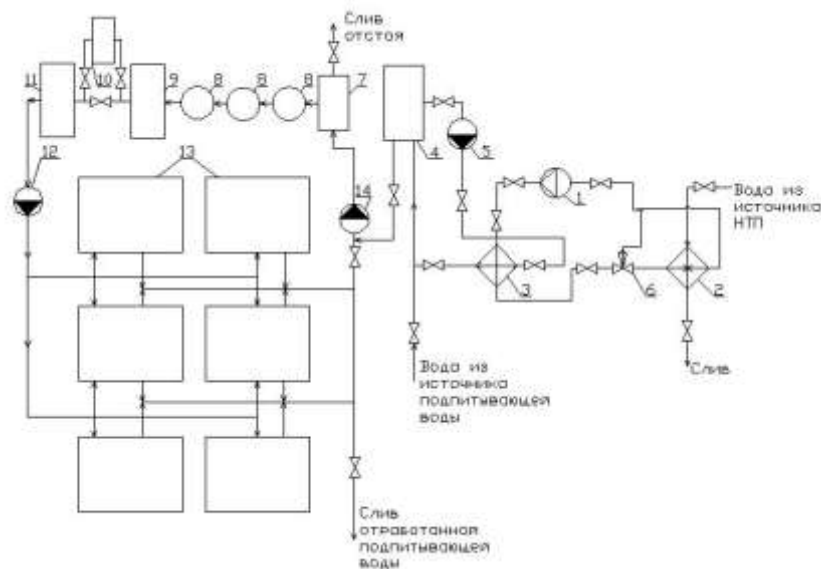


Рисунок 5 – Схема установки замкнутого обеспечения для разведения рыб с теплонасосной установкой (ТНУ) с одним компрессором для термоподготовки воды 1 – компрессор ТНУ; 2 – испаритель ТНУ; 3 – конденсатор ТНУ; 4 – бак-аккумулятор; 5 – насос водяной; 6 – регулирующий вентиль ТНУ; 7 – механический фильтр; 8 – биофильтр; 9 – бактерицидная лампа; 10 – оксигенатор; 11 – расходная емкость; 12 – насос водяной; 13 – рыбоводные бассейны; 14 – насос водяной

После окончательного принятия решения в пользу применения УЗВ появляется необходимость выбора способа поддержания температурного режима в рыбоводных бассейнах и цеха в целом.

Специфика расчета необходимого количества тепла или холода необходимого для поддержания выбранного температурного режима воздуха в рыбоводном цехе заключается в том, что нет единого метода расчета. На данный момент расчет может производиться по предельно допустимой концентрации (ПДК)  $\text{CO}_2$  в воздухе цеха или по влаговыведениям. Причем суммарная потребность теплоты в расчете по второму способу будет несколько выше. Какой вариант наиболее приемлем, необходимо решать в зависимости от условий производства и прочих обстоятельств, возникающих «по месту».

Для поддержания определенного температурного режима воды в рыбоводных бассейнах необходим нагрев подпитки, поступающей ежедневно из источника, поскольку в качестве источника часто выбираются скважины, температура воды в которых не превышает  $8\text{--}10\text{ }^\circ\text{C}$ .

Нагрев воды, поступающей в бассейны для подпитки, возможно осуществлять с помощью теплонасосной установки. Помимо экономии традиционных видов топлива и снижения негативного воздействия на окружающую среду, использование теплового насоса позволит производству соответствовать требованиям энергосбережения предприятий.

Выбор источника низкопотенциальной теплоты будет зависеть от месторасположения предприятия аквакультуры и объемов сбрасываемой из УЗВ воды.

Для крупных предприятий с большим объемом воды циркулирующей в установке и соответственно количеством ежедневно сбрасываемой и пополняемой подпитки возможно применение теплонасосной установки, которая в качестве источника низкопотенциального тепла использует воду, сбрасываемую из УЗВ. В данной схеме предусмотрена установка теплообменного аппарата в водяном контуре, который позволяет дополнительно подогревать воду из источника за счет теплоты сбрасываемой из УЗВ воды. А система запорных вентилей дает возможность изменения движения водяных потоков таким образом, что при необходимости подпитываемая УЗВ вода может подогреваться, не подвергаться термopодготовке или охлаждаться, если температура в источнике существенно колеблется в зависимости от сезона года.

При небольших объемах и количестве бассейнов для выращивания рыб с небольшим объемом сброса воды из УЗВ возможно применение теплового насоса другим источником низкопотенциальной теплоты. Такими источниками могут быть вода из скважины или другого близлежащего водоема (реки, озера, моря), земля или воздух. В данном варианте выбор осуществляется в зависимости от конкретных условий местности. Поскольку чаще всего предприятия аквакультуры располагаются близко к источникам воды, целесообразно применять воду из них, как источника низкопотенциальной теплоты для ТНУ, поскольку даже в самый холодный период года температура в водоемах под льдом не опускается ниже 3–4 °С.

Оценка необходимой мощности теплового насоса для термopодготовки подпитываемой воды производится согласно условиям технологического режима разведения теплолюбивых пород рыб.

Вода, подаваемая из источника, в холодный период года имеет температуру в интервале от 5 до 9 °С, нагрев должен производиться до 27 °С. Максимальный объем нагреваемой воды 10-15% от объема рыбоводных бассейнов, который равен 100 м<sup>3</sup>. Продолжительность технического обслуживания системы замкнутого водообеспечения и замены подпитываемой воды составляет 3 ч в сутки, термopодготовка воды  $\tau$  не должна превышать 2 ч.

Количество теплоты, необходимое для нагрева воды, кДж:

$$Q = c \cdot m(t_{\text{ТВ}} - t_{\text{НП}}),$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/(кг·К);  $m$  – масса нагреваемой подпитываемой воды, кг;  $t_{\text{НП}}$  – температура подпитываемой воды из источника, °С;  $t_{\text{ТВ}}$  – температура подпитываемой воды, подаваемой в рыбоводные бассейны, °С.

Тепловая мощность теплонасосной установки, кВт:

$$Q_T = Q/3600 \tau,$$

где  $\tau$  – время нагрева подпитывающей воды, ч (принять 1,5 ч). В расчетах с учетом потерь тепла тепловую мощность принять, как холодопроизводительность теплонасосной установки.

Расчет параметров работы теплонасосной установки:

- температура кипения  $t_0 = t_{\text{нп}} - (5 - 7^\circ\text{C})$ ,

где  $t_{\text{нп}}$  – температура источника низкопотенциальной теплоты (вода из скважины 5–9 °С);

- температура конденсации  $t_k = t_{\text{ТВ}} + (5 - 6^\circ\text{C})$ ,

где  $t_{\text{ТВ}}$  – температура технологической воды, подаваемой на подпитку в рыбоводные бассейны (принять 27 °С);

Для расчета и подбора оборудования ТНУ на основе данных по температурному режиму процесса нагрева подпитывающей воды строится цикл работы ТНУ в диаграмме  $\lg p - i$  для выбранного хладагента (порядок построения цикла рассмотрен в практической работе № 1) . Расчет и подбор оборудования ТНУ подробно рассмотрен в практической работе № 3.

### **3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Согласно учебному плану дисциплины «Теплонасосные установки в отраслях АПК» направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование студенты заочной формы обучения закрепляют изучаемый материал, самостоятельно в виде выполнения контрольной работы.

При выполнении контрольной работы студенты отвечают на два вопроса. Перечень вопросов для выполнения контрольной работы представлен в Приложении А. Первый вопрос контрольной работы выбирается по последней цифре номера зачетной книжки. Второй вопрос по предпоследней. Например: номер 9031 – первый вопрос 1, второй 30. Номер 0100 первый вопрос 0, второй 10.

Ответы на рассматриваемые вопросы должны излагаться по существу, быть четкими, полными и ясными.

При ответе на вопросы студент должен использовать не только учебную литературу, но и статьи, публикуемые в периодической печати, указывая в работе источники информации. Текстовая часть работы может быть иллюстрирована рисунками, схемами, таблицами. В конце приводится список использованных источников.

Работа должна быть выполнена на листах формата А4 с одной стороны листа, в печатном варианте. Шрифт текстовой части размер – 12 (для заголовков – 14), вид шрифта – Times New Roman, интервал 1,5. Поля страницы: левое 3 см, правое 1,5 см, верхнее и нижнее 2 см. Нумерация страниц внизу справа.

*Структура контрольной работы:*

- титульный лист (приложение А);
- содержание;
- текстовая часть (каждый вопрос начинать с нового листа);
- список используемой литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.001-2003, ГОСТ 7.0.100-2018.

В текстовой части не допускается сокращение слов. Объем выполненной работы не должен превышать 10 листов А4.

Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к контрольным работам:

- текст должен быть отпечатан на компьютере;
- основной текст подразделяется на озаглавленные части в соответствии с содержанием работы. Заглавия не подчеркиваются, в конце заголовка точка не ставится, переносы допускаются;
- страницы текста пронумерованы арабскими цифрами в правом верхнем углу без точек. Титульный лист считается первым и не нумеруется;
- на каждой странице оставлены поля для замечаний рецензента;
- список использованных источников оформляются по соответствующим требованиям.

Стиль и язык изложения материала контрольной работы должны быть четкими, ясными и грамотными. Грамматические и синтаксические ошибки недопустимы. Выполненная контрольная работа представляется для регистрации на кафедре, затем поступает на рецензирование преподавателю.

Положительная оценка («зачтено») выставляется в зависимости от полноты раскрытия вопроса и объема предоставленного материала в контрольной работе, а также степени его усвоения, которая выявляется при ее защите (умение использовать при ответе на вопросы научную терминологию, лингвистически и логически правильно отвечать на вопросы по проработанному материалу).

Контрольная работа с оценкой «не зачтено» возвращается студенту с рецензией, выполняется студентом вновь и сдается вместе с незачтенной работой на проверку преподавателю. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета.

## **ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ**

1. Области применения тепловых насосов.
2. Термодинамический цикл теплового насоса.
3. Классификация тепловых насосов.
4. Компрессионные тепловые насосы.

5. Теплоиспользующие тепловые насосы.
5. Источники низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов.
6. Определение размеров и производительности камеры для копчения и вяления рыбы.
7. Расчет затрат тепла на камеры холодного копчения и вяления рыбы.
8. Расчет и подбор оборудования системы воздухоподготовки теплонасосной сушильной установки для холодного копчения и вяления рыбы.
9. Особенности расчета и подбора оборудования термopодготовки воды для предприятий аквакультуры.
0. Отопительные теплонасосные установки.
10. Условия экономичности применения тепловых насосов.
20. Перспективные области применения теплонасосных установок в пищевой промышленности.
30. Особенности технологических режимов процессов копчения и вяления рыбы.
40. Теплонасосные сушильные установки в АПК.
50. Особенности производственного процесса выращивания рыбы в установках замкнутого водообеспечения (УЗВ).
60. Основные схемы установки тепловых насосов в УЗВ.
70. Комплексное использование вторичных энергоресурсов технологического оборудования.
80. Схема УЗВ с тепловым насосом, использующим сбросную воду из УЗВ в качестве источника низкопотенциальной теплоты.
90. Схема УЗВ с тепловым насосом, использующим воду из скважины в качестве источника низкопотенциальной теплоты.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теплонасосные установки в отраслях агропромышленного комплекса: учебник / под ред. Ю. А. Фатыхова. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2014. – 327 с.
2. Эрлихман, В. Н. Кондиционирование воздуха и тепловые насосы в технологических процессах пищевых производств: учеб. пособие для студ., обуч. по группе спец. 260600 Пищевая инженерия / В. Н. Эрлихман, А. Э. Суслов; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2006. – 132 с.
3. Эрлихман, В. Н. Энергосбережение в технологических процессах агропромышленного комплекса с использованием теплонасосных установок: монография / В. Н. Эрлихман, Ю. А. Фатыхов, А. Э. Суслов. – Калининград: КГТУ, 2007. – 232 с.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт агроинженерии и пищевых систем  
Кафедра инжиниринга технологического оборудования

Контрольная работа  
допущена к защите:  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Контрольная работа  
защищена  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Контрольная работа

по дисциплине  
«ТЕПЛОНАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ В ОТРАСЛЯХ АПК»

Шифр студента \_\_\_\_\_  
Вариант № \_\_\_\_\_

Работу выполнил:  
студент гр. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Калининград-20\_\_

Локальный электронный методический материал

Александр Эдуардович Суслов

## ТЕПЛОНАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ В ОТРАСЛЯХ АПК

Редактор Е. Билко

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 2,7. Печ. л. 2,2

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»,  
236022, Калининград, Советский проспект, 1