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

А. Э. Суслов

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

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

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 621.56

Суслов, А. Э.

Холодильная техника в пищевой промышленности: 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. – 39 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Холодильная техника в пищевой промышленности» 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. 6, рис. 5, список лит. – 3 наименования

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования18 января 2022 г., протокол № 1

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

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……. 7
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ…….. 12
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ…… 33
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК…….. 37
ПРИЛОЖЕНИЕ…… 38

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Холодильная техника в пищевой промышленности» относится к модулю «Холодильная техника в пищевой промышленности / Основы холодильной технологии» ОПОП ВО по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Целью освоения дисциплины «Холодильная техника в пищевой промышленности» является формирование знаний в вопросах устройства холодильных машин и холодильного технологического оборудования, схем холодильных установок и систем кондиционирования воздуха, умений и навыков получения низких температур, использования способов охлаждения, замораживания и хранения при низких температурах пищевых продуктов, применения холода на малых пищевых предприятиях.

Задачи изучения дисциплины:

- освоение понятий, методов и средств в области холодильной техники;
- формирование навыков расчета холодильных машин, изучение конструкций и схем холодильных машин и установок, морозильных аппаратов, другого холодильного оборудования;
- формирование навыков работы с различными источниками информации, анализа и обобщения необходимых сведений, связанных с выбором холодильного оборудования и с основными требованиями по его эксплуатации.

В результате освоения дисциплины студенты должны:

Знать:

- основные процессы и принцип работы оборудования холодильных установок;
- методику расчета машин и аппаратов холодильных установок при заданных параметрах и тепловых нагрузках;
- основные понятия о теоретических и действительных термодинамических циклах работы холодильных установок, о теории тепло- и массообмена;
- методы проектирования систем с использованием холодильных установок.

Уметь:

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

Дисциплина «Холодильная техника в пищевой промышленности» относится к модулю «Холодильная техника в пищевой промышленности / Основы холодильной технологии» 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 «Энергосбережение в технологических процессах пищевых производств» организуется практическая подготовка путем проведения практических 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 «Холодильная техника в пищевой промышленности», 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 %**
Критерий	**«неудовлетворительно»**	**«удовлетворительно»**	**«хорошо»**	**«отлично»**
	«не зачтено»	**«зачтено»**		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	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
2. Работа с информацией	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
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	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 задаче данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	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 «Холодильная техника в пищевой промышленности» 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 «Холодильная техника в пищевой промышленности», 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 холодильных машин, 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 холодильных установок в отраслях пищевой промышленности. 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 отсутствии 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 получения низких температур. Холодильные агенты, холодоносители	3	1
2	Схемы и циклы парокомпрессионных холодильных машин	3	1
3	Компрессоры холодильных машин	2	1
4	Теплообменные и вспомогательные аппараты холодильных установок	2	1
5	Холодильники	2	-
Итого		**12**	**4**

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 получения низких температур. Холодильные агенты, холодоносители, масла

Ключевые вопросы темы: основные понятия и термодинамические параметры, термодинамические основы рабочих процессов, способы получения низких температур, рабочие вещества и холодоносители.

Ключевые понятия: температура, плотность, давление, теплопередача, энтальпия, хладагенты, холодоносители.

Литература: [1, с. 5–25].

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. Понять физическую сущность основных рабочих процессов. Изучить основные способы получения низких температур.

Вопросы для самоконтроля:

1.Что такое теплопередача?

2. Принципиальная схема работы холодильной машины?

3. Какие физические процессы лежат в основе получения низких температур?

4. Как устроены вихревые трубы?

5. Принцип работы паровой компрессионной холодильной машины.

6. Назовите основные холодильные агенты паровых компрессионных холодильных машин.

7. Назовите основные холодоносители, применяемые в холодильных установках.

Тема 2. Схемы и циклы парокомпрессионных холодильных машин

Ключевые вопросы темы: принцип работы парокомпрессионной одноступенчатой холодильной машины. Причины перехода к многоступенчатому сжатию.

Ключевые понятия: цикл Карно, холодильный коэффициент, одно- и многоступенчатое сжатие

Литература: [1, с. 26–36].

Методические рекомендации

При освоении данной темы курса необходимо рассмотреть принцип работы парокомпрессионной одноступенчатой холодильной машины. Рассмотреть методику определения построения цикла работы в диаграмме lg p – i. Методику определения параметров узловых точек цикла для расчета. Рассмотреть причины перехода к многоступенчатому сжатию.

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите принцип работы парокомпрессионной одноступенчатой холодильной машины.

2. Что определяет холодильный коэффициент?

3. Какое назначение испарителя в составе холодильной установки?

4. Какое назначение конденсатора в составе холодильной установки?

5. Какое назначение компрессора в составе холодильной установки?

6. Назовите причину перехода к многоступенчатому сжатию.

Тема 3. Компрессоры холодильных машин

Ключевые вопросы темы

Назначение компрессора в парокомпрессионной одноступенчатой холодильной машине. Конструкция различных типов компрессоров.

Ключевые понятия: процесс сжатия, тип компрессора, отношение давлений.

Литература: [1, с. 37–82].

Методические рекомендации

В изучаемой теме необходимо рассмотреть, какие компрессоры применяются в холодильных машинах, как протекает процесс сжатия в различных типах компрессоров, а также особенности их конструкции.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое «мертвое пространство» в поршневом компрессоре?
2. Какие типы клапанов применяют в поршневых компрессорах?
3. Что такое коэффициент подачи компрессора?
4. Какие типы компрессоров применяют в крупных холодильных установках?

Тема 4. Теплообменные и вспомогательные аппараты холодильных установок

Ключевые вопросы темы:

Основы теплообмена. Теплообменные аппараты холодильных установок. Вспомогательные аппараты.

Ключевые понятия: теплопередача через стенку, конденсатор, испаритель, вспомогательные аппараты

Литература: [1, с. 85–129].

Методические рекомендации

При изучении вопросов рассматриваемой темы обучающимся необходимо уделить внимание основному виду теплопередачи в холодильных установках – теплопередаче через стенку. Рассмотреть назначение и основные конструкции конденсаторов и испарителей, назначение вспомогательных аппаратов холодильных установок.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие типы конденсаторов вы можете назвать?
2. Какие типы испарителей вы можете назвать?
3. От каких параметров зависит интенсивность теплопередачи в аппаратах холодильных установок?
4. Какое назначение линейных ресиверов?
5. Какое назначение дренажных ресиверов?
6. Какое назначение маслоотделителей?

Тема 5. Холодильники

Ключевые вопросы темы

Назначение холодильников. Типы холодильников. Теплопритоки в холодильные камеры.

Ключевые понятия: хранение мороженых и охлажденных грузов, грузооборот, непрерывная холодильная цепь, теплопритоки

Литература: [1, с. 165–185].

Методические рекомендации

При изучении вопросов рассматриваемой темы обучающимся необходимо рассмотреть назначение и типы холодильников. Определиться с понятием

«непрерывная холодильная цепь». Рассмотреть конструкцию ограждений холодильника, виды теплопритоков в камеры холодильника и их расчет.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите типы холодильников.
2. Что такое непрерывная холодильная цепь?
3. Назначение изоляции камер холодильника.
4. Какие теплопритоки проникают в камеры холодильника?
5. Какое назначение имеет гидроизоляция камер?

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 «Холодильная техника в пищевой промышленности» 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
2	Построение термодинамического цикла работы холодильной машины в тепловых диаграммах	2	-
2	Построение термодинамического цикла работы хладоновой холодильной машины и его расчет	2	2
3	Расчет и подбор одноступенчатого компрессора	2	2
5	Определение емкости камер и площади основных помещений холодильника	4	-
5	Расчет теплопритоков в камеры холодильника	4	-
Итого		**14**	**4**

Студент должен выполнить расчеты оборудования и ответить на вопросы преподавателя.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Цель работы: научиться строить рабочий цикл одноступенчатой холодильной машины и производить его расчет.

Теоретический материал:

Одноступенчатая паровая холодильная машина состоит из компрессора, конденсатора, регулирующего вентиля и испарителя (рисунок 1). Эти части соединены между собой трубопроводами в замкнутую систему, в которой благодаря работе компрессора циркулирует холодильный агент.

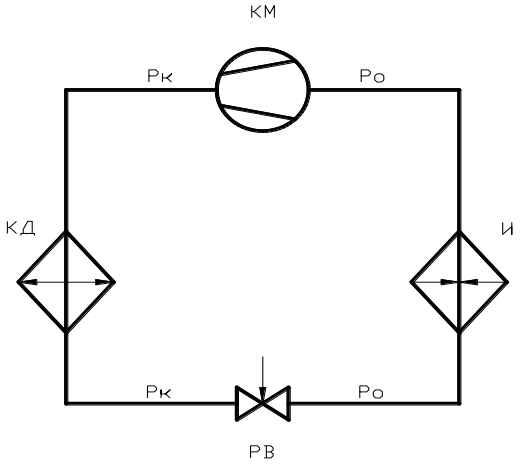

Рисунок 1 – Схема одноступенчатой паровой холодильной машины с регулирующим вентилем

В испаритель **И** непрерывно поступает жидкий холодильный агент. При пониженном давлении $\mathbf{p_o}$и соответствующей низкой температуре $\mathbf{t_o}$ хладагент кипит за счет отводимой от охлаждаемого объекта теплоты. Парообразный холодильный агент засасывается компрессором **КМ** и сжимается до высокого давления $\mathbf{p_к}$. При этом его температура значительно повышается.

Таким образом, за счет затраченной работы в компрессоре теплота, воспринятая хладагентом от объекта, поднимается на более высокий температурный уровень $\mathbf{t_к}$. В конденсаторе **КД** перегретые после сжатия в компрессоре пары сначала охлаждаются до температуры конденсации, а затем отдают скрытую теплоту парообразования, в результате чего насыщенные пары превращаются в жидкость, которая переохлаждается до температуры $\mathbf{t_п}$ при давлении $\mathbf{p_к}$.

В регулирующем вентиле **РВ** происходит дросселирование жидкого холодильного агента от высокого давления конденсации $\mathbf{p_к}$ до низкого давления кипения $\mathbf{p_o}$ в испарителе. Процесс дросселирования сопровождается понижением температуры холодильного агента. Регулирующий вентиль, кроме того, регулирует подачу холодильного агента в испаритель, в который надо подавать столько жидкости в единицу времени, сколько ее выкипает и в виде паров отсасывается компрессором.

Расчет цикла холодильной машины, 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 проектируемого холодильного цикла на диаграмму; определение параметров хладагента в характерных точках цикла и собственно тепловой расчет цикла.

Исходными данными для расчета являются: используемый холодильный агент, давление кипения $\mathbf{p_o}$ и температура кипения холодильного агента $\mathbf{t_o}$, давление конденсации $\mathbf{p_к}$ и температура конденсации $\mathbf{t_к}$, температура переохлаждения перед регулирующим вентилем $\mathbf{t_п}$, температура на всасывании в компрессор $\mathbf{t_{вс}}$.

По заданным параметрам наносят цикл на тепловую диаграмму, отмечая при этом характерные точки.

Исходные данные:

- температура кипения t_o, ^oC, $t_0 = t_{камеры} – (5….8\ ^0C)$, $t_{камеры}$ принять минус 20 ^0C;
- температура конденсации $t_к$, ^oC; $t_к = t_{воды} + (5…7\ ^0C)$, $t_{воды}$ принять 25 ^0C;
- температура переохлаждения $t_п$, ^oC , принять 15 ^0C;
- холодильный агент – R404A или R134a (по указанию преподавателя);
- диаграмма « i – lg p ».

Содержание работы:

1. Построить рабочий цикл одноступенчатой холодильной установки.

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

- p – давление, МПа;
- t – температуру, ^oC;
- v – удельный объем, $м^3$/кг;
- i – энтальпию, кДж/кг;
- s – энтропию, кДж/кг К;
- x – степень сухости пара.

3. Рассчитать основные параметры цикла:

- q_o – удельную массовую холодопроизводительность, кДж/кг;
- $q_к$ – теплоту, отведенную от 1 кг холодильного агента в конденсаторе, кДж/кг;
- ℓ – работу, затраченную на адиабатное сжатие 1 кг холодильного агента, кДж / кг;
- ε – холодильный коэффициент.

Порядок выполнения работы:

1. Построение рабочего цикла.

1.1 По диаграмме « i – lgp» (рисунок 2) в состоянии насыщения определить:

$p_о = f(t_о)$, МПа $\qquad$ $p_к = f(t_к)$, МПа

1.2 Найти температуру всасывания компрессора:

$t_{вс} = t_о + (15 \ldots 20)$ °С для хладона

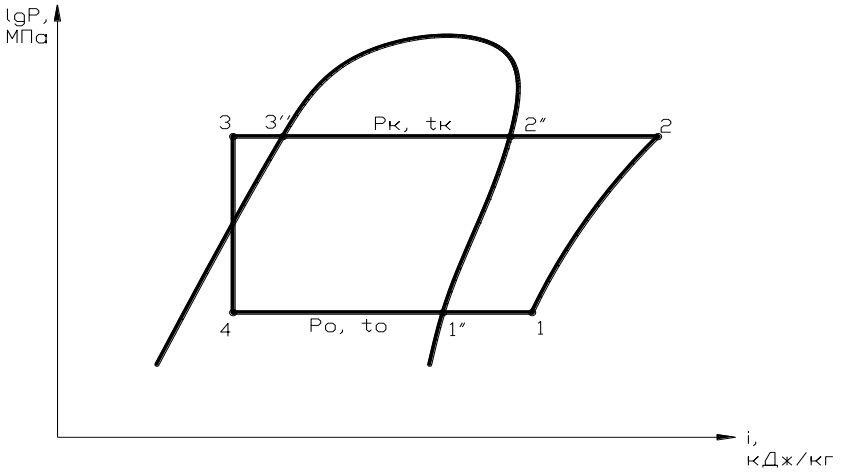

Рисунок 2 – Цикл односупенчатой холодильной машины

1.3 Через все области диаграммы провести две изобары $p_о$=const и $p_к$=const. На пересечении изобары $p_о$=const с линией x=1 получим точку **1'.**

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

1.5 Через точку **1** провести линию s=const до пересечения с изобарой $p_к$=const. Получим точку **2.**

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

1.7 В области переохлажденной жидкости найти изотерму $t_п$=const (штрихпунктирная линия) и найти точку ее пересечения с изобарой $p_к$=const. Получим точку **3.**

1.8 Из точки **3** опустить перпендикуляр (i=const) до пересечения с изобарой $p_о$=const. Получим точку **4**.

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

Таблица

Номер точек	p, МПа	t, °C	v, м^3/кг	i, кДж/кг	s, кДж/(кг К)	x
1'						
1						
2						
2'						
3"						
3						
4						

Примечание: Значение удельного объема для точки **3,**3" можно определить только по таблицам насыщенных паров и в данном варианте не определяется.

2. Расчет основных параметров цикла.

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

$$q_о = i_{1'} - i_4.$$

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

$$\ell_о = i_2 - i_1.$$

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

$$q_к = i_2 - i_3.$$

2.4 Холодильный коэффициент:

$$\varepsilon = q_о / \ell_о.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Цель работы: научиться строить рабочий цикл одноступенчатой хладоновой холодильной машины и производить его расчет.

Теоретический материал:

Одноступенчатая хладоновая холодильная машина состоит из компрессора, конденсатора, регенеративного теплообменника, регулирующего вентиля и испарителя (рисунок 3). Эти части соединены между собой трубопроводами в замкнутую систему, в которой благодаря работе компрессора циркулирует хладон.

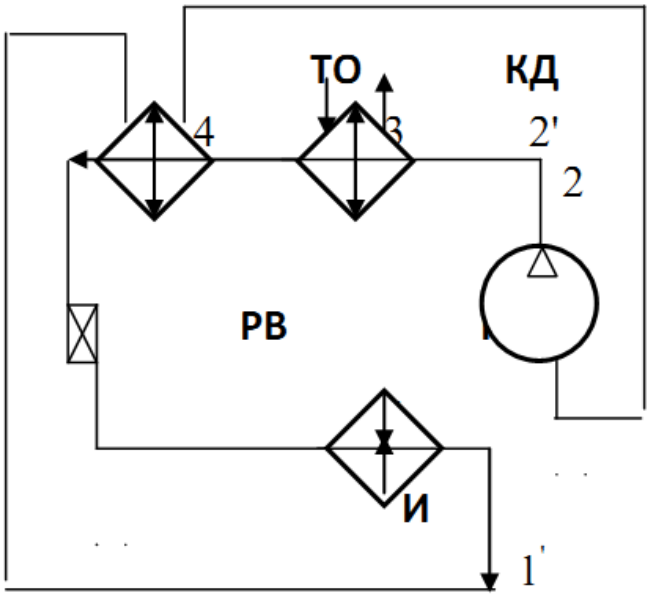

Рисунок 3– Схема одноступенчатой хладоновой холодильной машины с регенеративным теплообменником

В испаритель **И** поступает жидкий хладон. При давлении p_oи соответствующей низкой температуре t_o хладагент кипит за счет отводимой от охлаждаемого объекта теплоты. 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 $p_к$, при этом его температура значительно повышается.

Таким образом, за счет затраченной работы в компрессоре теплота, воспринятая хладагентом от объекта, поднимается на более высокий температурный уровень $t_к$. В конденсаторе **КД** перегретые после сжатия в компрессоре пары сначала охлаждаются до температуры конденсации (водой или воздухом), а затем отдают (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 $t_{то}$ при давлении $p_к$, 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 $p_к$ до низкого давления кипения p_oв 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 холодильной машины, т. е. определение параметров холодильного агента и тепловой расчет основных процессов обычно выполняют графическим методом с помощью термодинамической диаграммы «i – lg p» (рисунок 4).

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 , ^oC; $t_0 = t_{камеры} – (5….8\ ^0C)$, $t_{камеры}$ принять минус 25 ^0C;
- температура конденсации $t_к$, ^oC, $t_к = t_{воды} + (5…7\ ^0C)$, $t_{воды}$ принять 25 ^0C;
- холодильный агент – R 404A или R134a (по указанию преподавателя);
- диаграмма « i – lg p».

Содержание работы:

1. Построить рабочий цикл одноступенчатой холодильной установки.

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

- p – давление, МПа;
- t – температуру, ^oC;
- v – удельный объем, $м^3$/кг;
- i – энтальпию, кДж/кг;
- s – энтропию, кДж/кг К;
- x – степень сухости пара.

3. Рассчитать основные параметры цикла:

- q_o – удельную массовую холодопроизводительность, кДж/кг;
- $q_к$ – 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;
- холодильный коэффициент цикла.

Порядок выполнения работы:

1. Построение рабочего цикла.

1.1 По диаграмме «i – lgp» хладона 404А в состоянии насыщения определить:

$p_о = f(t_о)$, Мпа $\qquad$ $p_к = f(t_к)$, МПа

1.2 Найти температуру всасывания компрессора:

$t_{вс} = t_о + (20 \dots 30)^{o}C$

1.3 Через все области диаграммы провести две изобары $p_о$=const и $p_к$ = const. На пересечении изобары $p_о$=const с линией x=1 получим точку **1'.**

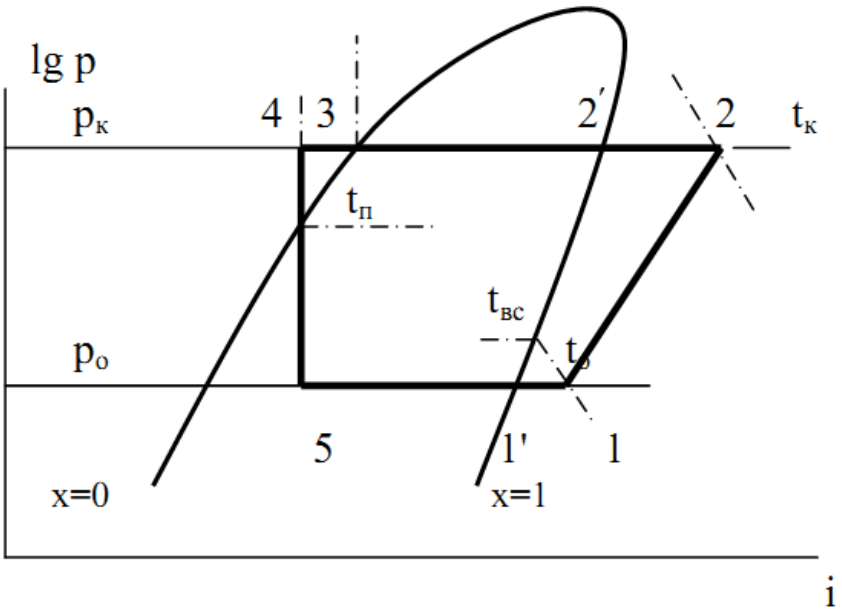

Рисунок 4 – Рабочий цикл хладоновой холодильной машины

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

1.5 Через точку **1** провести линию s=const до пересечения с изобарой $p_к$= const. Получим точку **2.**

1.6 Двигаясь влево по изобаре $p_к$ = 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 пересечения с изобарой $p_к$ = const.

1.8 Из точки **4** опустить перпендикуляр (i = const) до пересечения с изобарой $p_о$ = const. Получим точку **5**.

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

Таблица

Номер точек	p, ***МПа***	t, °C	v, м^3/кг	i, кДж/кг	s, кДж/(кг ·К)	x
1'						
1						
2						
2'						
3						
4						
5						

Примечания: 1. Для точек, лежащих на линиях x = 0 и x = 1, т. е. для точек **1'**, **2'**, **3**, значения i, s, v можно определить только по таблице для насыщенных паров и жидкости данного холодильного агента и в данной работе не определяется.

2. Значение удельного объема для точки **3** нужно определить только по таблице для насыщенной жидкости и в данной работе не определяется.

2. Расчет основных параметров цикла

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

$$q_о = i_{1'} - i_5.$$

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

$$\ell_о = i_2 - i_1.$$

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

$$q_к = i_2 - i_3.$$

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

$$q_{то} = i_3 - i_4.$$

2.5 Холодильный коэффициент:

$$\varepsilon = q_о / \ell_о.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Цель работы: научиться вести расчет одноступенчатых поршневых компрессоров и на основании полученных данных производить подбор компрессора.

Теоретический материал:

Действительный цикл паровой холодильной компрессионной машины отличается от теоретического наличием объемных и энергетических потерь как в компрессоре, так и вне его. Объемные потери снижают производительность холодильной машины, энергетические увеличивают затраты мощности по сравнению с теоретическими значениями. Указанные потери довольно значительны. При тепловых расчетах их необходимо учитывать введением поправочных коэффициентов. Рассмотрим влияние отдельных факторов на объемные и энергетические потери.

Объемные потери в действительном цикле

Объемные потери, снижающие холодопроизводительность холодильной машины, в основном возникают в компрессоре.

При работе поршневого компрессора поршень никогда не подходит вплотную к крышке. Над поршнем в верхнем крайнем положении образуется так называемое «мертвое» пространство компрессора. При обратном ходе поршня оставшиеся в мертвом пространстве пары хладагента расширяются до давления в испарителе, на что будет затрачена часть хода поршня, после чего начнется процесс всасывания пара из испарителя.

Мертвое пространство изменяет рабочий процесс компрессора и приводит к значительным потерям, которые учитываются объемным коэффициентом λ_c. Однако мертвое пространство в компрессоре необходимо: оно предохраняет компрессор от аварии при удлинении кривошипно-шатунного механизма от нагревания, а в случае «влажного хода» уменьшает опасность гидравлического удара. Величина мертвого пространства должна быть минимальной.

Гидравлические сопротивления в клапанах существенно влияют на объемные потери в компрессоре. Вследствие этих сопротивлений давление при всасывании бывает ниже, чем в испарителе на величину Δp_o, а при нагнетании выше, чем в конденсаторе на величину $\Delta p_к$. Падение давления при всасывании уменьшает плотность всасываемого пара и его количество.

Объемные потери вследствие сопротивления клапанов учитываются коэффициентом дросселирования $\lambda_{др}$. Потери от наличия мертвого пространства и сопротивления (депрессии) клапанов могут быть учтены совместно индикаторным коэффициентом λ_i, который равен $\lambda_i = \lambda_c \cdot \lambda_{др}$.

Потери от внутреннего теплообмена между хладагентом и стенками цилиндра также характерны для действительного компрессора.

В процессе сжатия температура пара значительно повышается и тепло от пара переходит к стенкам цилиндра, поршню и другим деталям. При всасывании, наоборот, холодный пар соприкасается с подогретыми деталями и сам перегревается. В результате в цилиндр всасывается меньше пара, так как удельный объем его при подогреве увеличивается. Отрицательное влияние внутреннего теплообмена особенно велико, если из испарителя поступает влажный пар и превращение частичек жидкости в пар внутри цилиндра уменьшает количество пара, всасываемого непосредственно из испарителя. Потеря в результате теплообмена учитывается коэффициентом подогрева λ_w. Чем больше отношение давлений p / p_o, или чем больше диапазон температур в цилиндре от начала всасывания до конца сжатия, тем больше теплообмен между паром и стенками цилиндра. При увеличении числа оборотов коленчатого вала компрессора сокращается время хода, а значит, и теплообмен. По индикаторной диаграмме потери от теплообмена определить нельзя, эти потери для разных холодильных машин могут быть определены только опытным путем.

В компрессоре имеются также потери вследствие неплотности во всасывающих и нагнетательных клапанах, в поршневых кольцах, в сальнике и т. д. Эти потери, характеризуемые коэффициентом плотности $\lambda_{пл}$, зависят от конструкции и степени износа машины. При правильной технической эксплуатации потери от неплотности в соединениях незначительны.

Все виды объемных потерь в практических условиях учитывают коэффициентом подачи, величина которого равна

$$\lambda = \lambda_с \cdot \lambda_{др} \cdot \lambda_w \cdot \lambda_{пл}.$$

Коэффициент подачи характеризует степень использования рабочего объема цилиндра. Его можно рассматривать как отношение объема пара, действительно всасываемого компрессором к теоретическому объему цилиндра. Или, иными словами, это отношение действительной объемной подачи к теоретической

$$\lambda = V_д / V_h.$$

Коэффициент подачи определяют опытным путем. Он завит от размеров компрессора, степени сжатия и отношения температур конденсации и кипения, величины мертвого пространства, перегрева пара перед всасыванием, наличия устройств для охлаждения цилиндров и других факторов. Так, применение водяной охлаждающей рубашки повышает коэффициент подачи при сухом ходе примерно на 5 %. При работе компрессора «влажным ходом» температура воды при прохождении через рубашку понижается и рабочие коэффициенты компрессора, наоборот, становятся ниже. Для определенных типов компрессоров значения λприводят в виде графических зависимостей $\lambda = f(p_к/p_о)$, составленных по данным испытания однотипных машин.

Энергетические потери

В теоретическом процессе сжатие пара в компрессоре совершается адиабатно, а затраты на сжатие М (кг / с) пара составляют, кВт,

$$N_{\text{а}} = \text{М}\ (i_2 - i_1).$$

Затраты мощности в действительном процессе отличаются от теоретической вследствие имеющихся потерь. Мощность, затраченную на сжатие пара в действительном процессе, определяемую по индикаторной диаграмме, называют индикаторной и обозначают N_i.

В действительном процессе сжатия энергетические затраты увеличиваются также в результате теплообмена пара со стенками цилиндра и сопротивления при всасывании и нагнетании. Эффективная мощность N_e, затраченная на валу компрессора, больше индикаторной на величину потерь на трение.

Соотношение между теоретической мощностью и индикаторной или эффективной устанавливается с помощью энергетических коэффициентов.

Индикаторным коэффициентом полезного действия η_i называется отношение теоретической мощности к индикаторной:

$$\eta_i = N_{\text{а}}/N_i\ .$$

Он связан с коэффициентом невидимых потерь $\lambda_{w'}$, так как затрата работы на сжатие 1 кг пара возрастает с повышением температуры начала сжатия. Его определяют по формуле И. И.Левина:

$$\eta_i = \lambda_{w'} + bt_{\text{о}},$$

где b – эмпирический коэффициент, зависящий от типа компрессора; t_o – температура кипения в ^{o}C с соответствующим знаком.

Механическим коэффициентом полезного действия $\eta_{\text{м}}$ называется отношение индикаторной мощности к эффективной:

$$\eta_{\text{м}} = N_i/N_e\ .$$

Он зависит от конструктивных особенностей, режима работы, качества монтажа и состояния компрессора.

Если компрессор соединяется с двигателем через ременную передачу, мощность на валу двигателя будет больше эффективной мощности на величину потерь в передаче:

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{е}}/\eta_{\text{пер}}\ ,$$

где $\eta_{\text{пер}}$ – коэффициент полезного действия передачи.

Эффективным коэффициентом полезного действия η_e называется отношение теоретической мощности к эффективной:

$$\eta_{\text{е}} = N_{\text{а}}/N_{\text{е}} = \eta_i \cdot \eta_{\text{м}}\ .$$

Удельной холодопроизводительностью компрессора называется отношение его холодопроизводительности к мощности.

Эффективная удельная холодопроизводительность:

$$\text{К}_{\text{е}} = Q_0/N_e\ .$$

Эффективная удельная холодопроизводительность является основной величиной, характеризующей экономичность компрессора.

Исходные данные:

- рабочая холодопроизводительность Q_o, кВт, принять 200 кВт;
- температурный режим работы машины, °С;
- температура кипения t_o, °С; $t_0 = t_{камеры} - (5 \ldots 8\ °C)$, $t_{камеры}$ принять минус 25 °С;
- температура конденсации $t_к$, °С, $t_к = t_{воды} + (5 \ldots 7\ °C)$, $t_{воды}$ принять 25 °С;
- холодильный агент – R 404A или R134a (по указанию преподавателя);
- диаграмма «i – lg p».

Предусмотреть в схеме холодильной машины регенеративный теплообменник.

Содержание работы:

1. Определить:
- теоретическую объемную подачу V_h, м^3 / с;
- мощность электродвигателя $N_{дв}$, кВт.

2. Подобрать компрессоры из каталогов компрессорного оборудования.

Порядок выполнения работы:

1. По диаграмме определить параметры давления, МПа:
- давление кипения $p_o = f(t_o)$;
- давление конденсации $p_к = f(t_к)$.

2. Определить температуру всасывания компрессора, °С:

$t_{вс} = t_o + (20 \ldots 30)$ °С.

3. По заданному температурному режиму в диаграмме «i – lg p» построить рабочий цикл и определить энтальпии узловых точек, а также удельный объем v_1, м^3/кг. Значения энтальпии занести в таблицу.

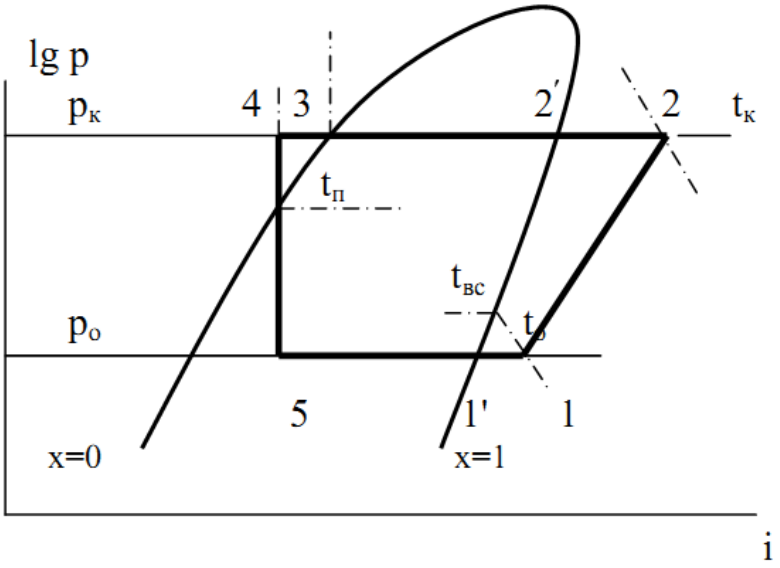

Рисунок 5 – Рабочий цикл холодильной машины

Таблица Значения энтальпии в узловых точках цикла

Номер точек	1^1	1	2	3	4	5
i, кДж/кг						

Удельный объем всасывания:

$v_{вс} = v_1$, м^3/кг,

4. Определить теоретическую объемную подачу V_h, м^3/с.

4.1 Действительная масса всасываемого пара, кг/с,

$M = Q_o / q_o = Q_o/(i_{1'} - i_5)$.

4.2 Действительная объемная подача, м^3/с,

$V_д = M \cdot v_1$, м^3.

4.3 Теоретическая объемная подача, м^3/с,

$V_h = V_д/\lambda$,

4.4 Коэффициент подачи компрессора

$\lambda = \lambda_i \cdot \lambda_{w'}$,

где λ_i – индикаторный коэффициент подачи:

$\lambda_i = (p_o - \Delta p_{вс})/p_o - c[(p_к + \Delta p_н)/p_o - (p_o - \Delta p_{вс})/p_o)]$,

где $\Delta p_{вс}$ – потери давления от депрессии всасывающих кланов; $\Delta p_н$ – потери давления от депрессии нагнетательных клапанов; с – величина мертвого пространства в долях единицы (0,02…0,05).

$\Delta p_{вс}$ = 0,005 МПа;

$\Delta p_н$ = 0, 01 МПа;

$\lambda_{w'}$ – коэффициент, учитывающий объемные потери от вредного теплообмена холодных паров холодильного агента с горячими стенками цилиндра компрессора;

$\lambda_{w'} = T_o / T_к$,

где T_o, $T_к$ – температуры кипения и конденсации в градусах Кельвина.

5. Определить мощность электродвигателя компрессора $N_{дв}$, кВт.

5.1 Теоретическая мощность, кВт,

$N_т = M\,(i_2 - i_1)$.

5.2 Индикаторная мощность, кВт,

$N_i = N_т/\eta_i$,

где η_i – индикаторный коэффициент полезного действия

$\eta_i = \lambda_{w'} + bt_0$,

где b – эмпирический коэффициент, зависящий от типа компрессора.

$b = 0{,}0025$ – для хладоновых компрессоров.

5.3 Эффективная мощность, кВт,

$N_e = N_i/\eta_м$,

где $\eta_м$ – механический КПД (равен 0,85…0,95).

5.4 Мощность двигателя, кВт,

$N_{дв} = (1{,}10 \dots 1{,}15) N_e / \eta_{пер}$,

где $\eta_{пер}$ – коэффициент полезного действия передачи привода компрессора.

$$\eta_{пер} = 0{,}96 \dots 0{,}98.$$

6. Подобрать компрессор.

Зная V_h и $N_{дв}$ по каталогам подобрать компрессор.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

Цель занятия: научиться определять емкость камер и площади основных помещений холодильника, а также общую площадь холодильника.

Теоретический материал:

В структуру холодильника в зависимости от его назначения входят камеры, предназначенные для термической обработки грузов: охлаждения, замораживания, хранения охлажденных и мороженых грузов; помещения для скороморозильных аппаратов; вспомогательные помещения: накопительные, разгрузочные, экспедиции, коридоры и т. д.

Количество груза, одновременно хранящегося на холодильнике, выраженное в тоннах данного груза или в тоннах условного груза, называется *емкостью* или *условной емкостью.*

Емкость любого холодильника определяется емкостью камер хранения. Емкость камер холодильной обработки и экспедиций в емкость холодильника не входит.

Камеры группируют в блоки на основе общего технологического процесса или температурного режима.

Строительная площадь помещений зависит от вместимости холодильника, вида и способа размещения груза.

Следует помнить, что расчет площадей камер хранения мороженого груза отличается от расчета камер хранения охлажденного груза. Если в первом случае для расчета используется норм загрузки на 1 м^3 камеры g_v (т/м^3) , то для определения строительной площади камер хранения охлажденных грузов и универсальных камер применяется норма загрузки на 1 м^2 площади камеры g_f (т/м^2). По данной нагрузке определяют площади камер хранения многих видов охлажденной продукции, камер доморозки и морозилок, в которых груз укладывается на стеллажи и полки, а также экспедиций.

Норму загрузки на 1м^3 камеры принимают для условного груза, равной 0,35 т/м^3, а для конкретного вида – по данным, приведенным в таблице 4.

Высоту груза в штабеле определяют в зависимости от принятой высоты холодильника с учетом отступов от строительных конструкций 0,2 м, от охлаж-

дающих приборов 0,3 м, а также допустимой нагрузки на пол, устойчивости штабеля и прочности тары. Коэффициент, учитывающий использование площади, принимают в зависимости от площади камеры.

Если заморозка груза осуществляется в скороморозильных аппаратах, то площадь помещений для установки аппаратов определяют в зависимости от размеров аппарата, их количества и площади для их обслуживания.

Порядок выполнения работ:

1. Необходимые исходные данные:

- тип холодильника – распределительный;
- количество этажей – один;
- условная емкость холодильника 5000 т;
- процентное отношение мороженого груза к общей емкости 100 %.

2. Рассчитать емкость камер холодильника.
3. Рассчитать площади камер и вспомогательных помещений.
4. Определить общую площадь холодильника.

Расчет емкости камер холодильника

1. Емкость камер мороженных и охлажденных грузов, т,

$$\text{Е}_{\text{мор}} = \%\ \text{от}\ \text{Е}_{\text{общ}}.$$

Расчет строительных площадей:

а) Камера хранения мороженых грузов:

1. Грузовой объем камеры, м^3,

$V_{\text{гр}} = E_{\text{мор}}/g_v$,

где $\text{Е}_{\text{мор}}$ – емкость камеры хранения мороженого груза, т; g_v – норма загрузки 1м^3 объема камеры, т / м^3 (таблица 4);

2. Грузовая площадь камеры, м^2,

$F_{\text{гр}} = V_{\text{гр}}/h_{\text{гр}}$,

где $h_{\text{гр}}$ – грузовая высота или высота штабеля груза, м;

$h_{\text{гр}} = h_{\text{стр}} - h_{\text{отст}}$,

где $h_{\text{стр}}$ – строительная высота холодильника принимается самостоятельно, кратной 0,6 м, но не менее 4,2м; $h_{\text{отст}}$ – величина отступа от строительных конструкций и оборудования, м.

3. Строительная площадь камеры, м^2,

$F_{\text{стр}} = F_{\text{гр}}/\beta$,

где β – коэффициент использования площади помещения, учитывающий площадь, не занятую грузом;

β = 0,5…0,6 – для камер площадью до 20 м^2;
β = 0,65…0,75 – – « – 20…100 м^2;
β = 0,75…0,80 – – « – 100…400 м^2;

β = 0,80…0,85 – – « – свыше 400 м^2.

б) Коридоры:

Строительная площадь коридоров, м^2

$$F_{кор} = (10 \dots 20)\% \sum F_{стр},$$

$$\sum F_{стр} = F_{хр.мор} + F_{хр.охл},$$

где $F_{хр.мор}$ – площадь камеры хранения мороженого груза, м^2; $F_{хр.\ охл}$ – площадь камеры охлажденного груза, м^2;

в) Холодильник в контуре изоляции:

Строительная площадь холодильника, м^2,

$$F_{хол} = F_{хр.мор} + F_{кор}.$$

д) Число строительных прямоугольников:

$$n = F_i / f,$$

где F_i – строительная площадь соответствующего помещения, м^2; f – площадь одного прямоугольника выбранной сетки колонн (36, 72, 144 м^2).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Цель занятия: научиться рассчитывать теплопритоки в охлаждаемые помещения с целью определения тепловой нагрузки на холодильное оборудование для его подбора (камерного оборудования и компрессоров).

Теоретический материал:

Теплопритоки рассчитывают с целью определения тепловой нагрузки на холодильное оборудование, в частности на компрессоры и охлаждающие устройства для их подбора такой производительности, чтобы обеспечивался заданный режим работы оборудования.

При расчете охлаждаемых помещений в общем случае определяют следующие теплопритоки, Вт:

$$Q_{сум} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

где Q_1 – теплоприток от окружающей среды через ограждения, Вт; Q_2 – теплоприток от продуктов при их холодильной обработке, Вт; Q_3 –теплоприток от наружного воздуха при вентиляции охлаждаемого помещения, Вт; Q_4 –теплоприток от источников, связанных с эксплуатацией охлаждаемого помещения, Вт.

Нагрузка на холодильное оборудование определяется суммой теплопритоков, поступающих в одно и то же время, Вт:

$Q_{обор} = \Sigma\ Q_i$.

Нагрузка на компрессор может быть меньше, чем на охлаждающие устройства, если компрессор (компрессоры) поддерживают температуру $t_в$ сразу в нескольких одновременно работающих объектах (помещениях или аппаратах).

При децентрализованной системе охлаждения объектов нагрузка на компрессоры учитывает все виды теплопритоков в полном объеме.

Теплоприток от окружающей среды

Этот теплоприток в общем случае включает теплопритоки, Вт:

$$Q_1 = Q_{1т} + Q_{1с},$$

где $Q_{1т}$ – теплоприток, обусловленный разностью температур окружающего воздуха и помещения:

$$Q_{1т} = kF_н(t_н - t_в),$$

$Q_{1с}$ – теплоприток, обусловленный солнечным тепловым излучением:

$$Q_{1с} = F_н \Delta t_с k,$$

где $F_н$ – площадь поверхности ограждения, м^2; $t_н$ – температура воздуха с наружной стороны ограждения (таблица 5), ^{o}С; место расположения холодильника по указанию преподавателя; $t_в$ – температура воздуха в помещении, определяемая нормативными документами, ^{o}С, при выполнении; $\Delta t_с$ – избыточная разность температур, вызванная тепловым излучением, ^{o}С; k – коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/ (м^2 К).

Коэффициенты теплопередачи ограждений принимают в зависимости от температуры в камере и среднегодовой температуры наружного воздуха в районе расположения холодильника:

наружные стены – 0,23;

покрытия (крыша) – 0,22;

пол с обогревом – 0,21.

Количество теплоты от солнечной радиации зависит от зоны расположения холодильника (географической широты), характера поверхности и ориентации ее по сторонам горизонта.

Для плоской кровли избыточная разность температур зависит только от тона окраски и не зависит от ориентации и широты. Для плоских кровель без окраски (темных) избыточную разность температур принимают равной 17,7 ^{o}С, с окраской светлых тонов 14,9 ^{o}С. Для шатровых (скатных) кровель избыточную разность температур принимают в зависимости от географической широты: для южной зоны 15 ^{o}С, средней 10 ^{o}С, северной 5 ^{o}С.

Температура наружного воздуха, определяемая расчетным путем, ^{o}С:

$$t_н = t_{н.р.} = t_{ср.м} + 0{,}25t_{а.м.} \text{ или} t_н = t_{н.р.} = 0{,}4t_{ср.м} + 0{,}6t_{а.м},$$

где $t_{н.р}$ – расчетная температура наружного воздуха; $t_{ср.м}$ – средняя температура самого жаркого месяца (таблица 5); $t_{а.м.}$– температура абсолютного максимума (таблица 5).

Возможно также выбирать расчетную температуру воздуха по таблице 5 (расчетная летняя температура).

Для легких ограждений (сэндвич-панелей) значение расчетной температуры воздуха увеличивают на 10 ÷ 12 ^{o}С.

Теплоприток через пол, расположенный на грунте и имеющий обогревательные устройства, Вт:

$$Q_{1т} = kF(t_{ср} - t_{в}),$$

где F – площадь пола, м^2; $t_{ср}$ – средняя температура грунта, ^{o}C, равна 1 ^{o}C для полов с электрообогревом и 3 ^{o}C для шанцевых полов.

Теплопритоки от грузов при холодильной обработке

При холодильной обработке грузов (охлаждении, замораживании) выделяемая продуктами теплота определяется в зависимости от способа холодильной обработки.

Теплоприток от груза при его холодильной обработке в камерах охлаждения и замораживания периодического действия, Вт:

$$Q_{2гр} = 1{,}3\, M_{гр} \cdot \Delta\, i \cdot 1000/\tau \cdot 3600,$$

где 1,3– коэффициент, учитывающий неравномерность тепловой нагрузки; $M_{гр}$– суточное поступление продуктов в камеру, т/сут; Δi – разность удельных энтальпий продуктов, соответствующих начальной и конечной температурам продукта, Дж/кг (таблица 6); 1000 – переводной коэффициент из тонн в килограммы; 3600 – переводной коэффициент из часов в секунды; τ – продолжительность холодильной обработки, ч.

Теплопритоки при вентиляции помещений

Теплоприток от наружного воздуха при вентиляции следует учитывать при проектировании специализированных холодильников или камер и камер хранения овощей и фруктов.

Теплоприток от наружного воздуха, Вт:

$$Q_3 = M_{в}\,(i_{н} - i_{вн}),$$

где $M_в$ – массовый расход вентиляционного воздуха, кг/с; $i_н$ и $i_{вн}$ – удельные энтальпии наружного воздуха и воздуха в камере, Дж/кг.

Массовый расход вентиляционного воздуха определяют, исходя из необходимости обеспечения кратности воздухообмена нескольких объемов в сутки:

$$M_{в} = V_{к} a \rho_{в}/24 \cdot 3600,$$

где $V_к$ – объем вентилируемого помещения, м^3; а – кратность воздухообмена; $\rho_в$ – плотность воздуха при температуре и относительной влажности воздуха в камере, кг/м^3.

Эксплуатационные теплопритоки

Эти теплопритоки возникают вследствие освещения камер, пребывания в них людей, работы электродвигателей и открывания дверей. Каждый из этих теплопритоков легко вычислить, если известны конкретные условия эксплуатации камеры холодильника. Однако они, как правило, неизвестны. Поэтому теплоприток Q_4 принимают, как некоторую часть теплопритоков Q_1 и Q_3.

$$Q_4 = 0{,}1 \ldots 0{,}3\,(Q_1 + Q_3).$$

Большее значение численных коэффициентов принимают для камер меньшей емкости.

Итоговые данные расчета теплопритоков:

Тепловая нагрузка на камерное оборудование и на компрессоры при децентрализованном холодоснабжении находится суммированием теплопритоков для каждого отдельного помещения (аппарата) и компрессора (компрессоров). Все виды теплопритоков учитываются полностью, так как оборудование должно обеспечить отвод тепла даже при самых неблагоприятных условиях

$Q_{об} = Q_{км} = \sum Q_{общ}$.

Определение холодопроизводительности компрессора

При определении холодопроизводительности компрессора должны быть учтены время работы оборудования и потери в аппаратах и трубопроводах холодильной установки.

Холодопроизводительность компрессоров, Вт или кВт:

$Q_о = k\Sigma Q_{км}/b$,

где k – коэффициент, учитывающий потери в трубопроводах и аппаратах холодильной установки; $\Sigma Q_{км}$ – суммарная нагрузка на компрессоры для данной температуры кипения, принятая по таблице расчета суммарных теплопритоков; b – коэффициент рабочего времени.

Коэффициенты, учитывающие потери в трубопроводах и аппаратах, принимаются при непосредственном охлаждении в зависимости от температуры кипения хладагента:

$t_о$, °C	-40	-30	-10
k	1,1	1,07	1,05

Коэффициент рабочего времени на крупных холодильниках равен 0,9 (расчетное время работы 22 ч/сут).

Коэффициент рабочего времени для малых холодильных установок принимается в пределах 0, 4…0,6.

Порядок выполнения работы:

1. Выполнить расчет теплопритоков в камеры проектируемого холодильника. Исходными данными для расчета являются результаты практической работы № 4 (планировка холодильника).

Планировка холодильника определяет габаритные размеры камер холодильника, их высоту и расположение ограждающих конструкций относительно сторон горизонта.

Пользуясь изложенным выше теоретическим материалом и таблицами 4–6 (Справочные материалы), определить суммарные теплопритоки: камер хранения мороженого груза.

2. Определить холодопроизводительность компрессоров для низкотемпературных камер.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица 4 – Значения нормы загрузки единицы объема g_v для некоторых продуктов

Вид продукта	g_v , т / м^3	Вид продукта	g_v , т / м^3
Масло сливочное в коробках	0,70	Мясо в стоечных поддонах	0,60
Сыр без тары	0,50	Говядина мороженая :	
Яйцо	0,30	в полутушах	0,35
Цитрусовые	0,30	в четвертинах	0,40
Плоды	0,34	условный груз	0,35
Капуста в контейнерах	0,30	Свинина мороженая	0,45
Картофель в контейнерах	0,50	Мясо мороженое в блоках	0,60
Консервы разные	0,45	Птица в ящиках	0,40
Овощи	0,35	Рыба мороженая в блоках	0,60

Таблица 5 – Климатологические параметры воздуха

Город	Географическая широта	Расчетная летняя, °С	Среднемесячная температура самого жаркого месяца , °С	Температура абсолютного максимума, °С	Среднегодовая температура, °С	Среднемесячная относительная влажность самого жаркого месяца, °С	Продолжительность периода с температурой ниже 0°С, сутки	Средняя скорость ветра в январе,м/ с	Средняя температура наиболее холодного периода, °С
Астрахань	48	34	25,3	40,0	9,4	37	113	4.8	-8
Белгород	50	33	20,2	41,1	6,2	51	130	5.7	-12
Барнаул	52	31	19,7	38,0	4,1	54	169	5.9	-23
Брянск	52	30	18,4	38,0	4.9	53	140	6.3	-13
Владимир	56	29	18,0	37,0	3,4	59	154	4.3	-16
Волгоград	48	35	24,2	42,0	7,6	33	129	5.7	-13
Екатеринбург	56	30	17,4	38,0	1,2	54	169	3.9	-20
Иваново	56	30	17,4	38.0	2,7	56	160	4.6	-16
Иркутск	52	29	17,6	36,0	-1,1	58	176	2.9	-25
Кострома	56	30	17,6	36,0	2,8	62	160	5.8	-16
Красноярск	56	30	18,7	37,0	-0,1	56	181	5.3	-23
Курск	52	30	19,0	37,0	5,2	55	137	5.3	-14
Москва	56	30	18,1	37,0	3,8	54	151	4.1	-15
Новосибирск	56	30	18,7	38,0	-0,1	56	178	5.7	-24
Омск	56	31	18,3	40,0	0	52	175	5.1	-23
Орел	56	29	19,8	38,0	4,8	54	145	6.5	-13
Оренбург	52	34	21,8	42,0	3,9	40	157	5.5	-20
Пенза	56	29	19,8	38,0	3,9	52	154	4.9	-17
Пермь	56	29	18,1	37,0	1,5	57	167	4.8	-20
Псков	64	27	22,7	40,0	8,1	41	110	6.5	-8
Ростов-на-Дону	48	33	22,7	40,0	8,1	41	110	6.5	-8
Рязань	52	32	18,8	38,0	3,9	54	154	6.6	-16
Самара	52	32	20,7	39,0	3,8	48	154	4.8	-18
С. – Петербург	60	27	17,6	33,0	4.3	59	143	4.0	-11
Сочи	44	32	23,2	38,0	14,1	70	0	2.3	-
Ставрополь	48	33	19,6	37,0	7,5	57	93	7.4	-7

Тверь	56	30	17,2	38,0	3,3	59	154	6.2	-15
Томск	56	29	18,1	36,0	-0,6	59	181	5.6	-25
Тула	56	30	18,4	38,0	4.2	54	149	4.9	-14
Тюмень	56	31	18,6	40,0	1,3	58	168	3.9	-21
Уфа	56	32	19,0	39,0	2,5	53	164	5.5	-19
Хабаровск	48	32	21,1	40,0	1,4	67	162	5.9	-23
Чита	52	33	18,5	38,0	-2,9	51	186	3.2	-31
Челябинск	52	34	18,1	39,0	1,5	54	167	3.1	-21
Ярославль	52	32	17,2	36,0	2.7	58	158	5.5	-16

Таблица 6 – Энтальпии пищевых продуктов

Продукты	Удельные энтальпии продуктов (в кДж/кг) при температуре продукта, °С					
	-20	-15	-10	-5	-2	0
Мясо говяжье, птица	0	13,0	30,2	57,3	98,8	232,2
Баранина	0	12,6	29,8	55,6	95,8	224,0
Свинина	0	12,2	28,9	54,4	91,6	211,8
Субпродукты мясные	0	13,8	33,2	62,8	109,6	261,0
Рыба						
тощая	0	14,3	33,6	64,0	111,6	265,8
жирная	0	14,3	32,7	62,5	106,2	249,0
Яйца в скорлупе	-	-	-	-	230,2	237,0
Масло сливочное	0	10,1	23,5	40,6	60,4	95,0
Молоко цельное	0	14,3	32,7	62,8	111,2	317,8
Простокваша, кефир	-	-	-	-	-	0
Сметана	-	-	-	-	-	0
Творог	0	26,8	53,2	85,9	-	299,1
Сыр	-	-	-	5,5	14,3	19,7
Мороженое сливочное	0	19,7	46,9	105,3	221,0	227,4
Виноград, абрикосы, вишня	0	20,6	49,8	116,0	229,0	235,8
Фрукты и плоды других видов	0	17,2	38,5	82,9	211,0	271,7
Продукты	Удельные энтальпии продуктов (в кДж/кг) при температуре продукта, °С					
	2	8	12	20	30	40
Мясо говяжье, птица	238,2	248,2	270,8	296,8	329,0	361,0
Баранина	230,0	249,0	261,4	286,7	314,0	349,8
Свинина	217,8	235,8	248,2	272,5	301,8	332,2
Субпродукты мясные	268,3	289,2	302,2	330,6	366,0	401,0
Рыба						
тощая	272,9	293,9	308,0	336,0	371,0	406,0
жирная	256,0	277,0	290,0	317,4	351,5	385,0
Яйца в скорлупе	243,3	262,4	274,3	300,0	331,5	362,7
Масло сливочное	101,4	121,4	138,6	182,8	221,4	253,6
Молоко цельное	326,8	350,7	366,0	398,0	437,0	477,0
Простокваша, кефир	8,0	31,4	47,3	78,6	118,0	-
Сметана	5,9	29,3	44,4	73,7	110,6	-

Творог	205,5	326,9	344,3	369,4	404,7	-
Сыр	25,2	42,3	53,2	75,7	103,8	-
Мороженое сливочное	234,9	254,4	267,9	294,8	328,0	361,4
Виноград, абрикосы, вишня	242,9	264,5	278,6	307,0	343,0	378,0
Фрукты и плоды других видов	274,0	302,0	317,0	346,5	384,8	421,0

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Согласно учебному плану дисциплины «Холодильная техника в пищевой промышленности» 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 кафедру, 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 не зачтенной работой на проверку преподавателю. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета.

ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

1. Основные физические принципы получения низких температур.
2. Общая схема искусственного охлаждения.
3. Схема и принцип действия одноступенчатой холодильной машины.
4. Тепловой баланс холодильной машины.
5. Холодильный коэффициент.
6. Способы получения низких температур.
7. Вещества, применяемые в качестве холодильных агентов и хладоносителей.
8. Вещества, применяемые в качестве хладоносителей.
9. Требования к холодильным агентам и хладоносителям.
0. Парокомпрессионная холодильная машина. Цикл Карно.
10. Схема и принцип действия ПКХМ.
20. Изображение цикла ПКХМ в тепловых диаграммах.

30. Схема ПКХМ с регенеративным теплообменником. Изображение циклов в тепловых диаграммах.

40. Тепловой расчет ПКХМ.

50. Расчет и подбор компрессора холодильной установки.

60. Расчет и подбор конденсатора холодильной установки.

70. Расчет и подбор испарителя (воздухоохладителя) холодильной установки.

80. Морозильные аппараты.

90. Торговое холодильное оборудование.

100. Холодильный транспорт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдульманов, Х. А. Холодильные машины и установки, их эксплуатация: учеб. пособие / Х. А. Абдульманов, Л. И. Балыкова, И. П. Сарайкина. – Москва: Колос, 2006. – 327 с.
2. Румянцев, Ю. Д. Холодильная техника: учебник / Ю. Д. Румянцев, В. С. Калюнов. – Санкт-Петербург: Профессия, 2003. – 360 с.
3. Буянов, О. Н. Холодильное технологическое оборудование: учеб. пособие / О. Н. Буянов, Н. Н. Воробьёва, А. В. Усов; под ред. Н. В. Шишкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2009. – 200 с. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: по подписке: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141510 (дата обращения: 10.11.2020).

Приложение А

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
«ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

Шифр студента_____
Вариант №_____

Работу выполнил:
студент гр._____
_____Фамилия И.О.
«___»_____202__г.

Калининград-20__

Локальный электронный методический материал

Александр Эдуардович Суслов

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Редактор Е. Билко

Локальное электронное издание
Уч.-изд. л. 3,0. Печ. л. 2,4

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