

**МПС РОССИИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

14/12/1

Одобрено кафедрой
«Вагоны и вагонное
хозяйство»

Утверждено
деканом факультета
«Транспортные средства»

**ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ВАГОНОВ**

Рабочая программа и задание
на курсовой проект с методическими указаниями
для студентов V курса
специальности
150800. ВАГОНЫ (В)



Москва - 2002

Разработана на основании примерной учебной программы данной дисциплины, составленной в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки инженера по специальности 150800. Вагоны (В).

Составители — к.т.н., доцент СЕРГЕЕВ К.А.,
к.т.н., доцент ПЕТРОВ А.А.

Рецензент — ст. преп. ГОТАУЛИН В.В.

© Российский государственный открытый технический университет путей сообщения, 2002

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель преподавания дисциплины — дать теоретические основы для практического использования энергохолодильных систем вагонов.

Задачи, стоящие перед студентами:

1. *Знать и уметь использовать* физические и термодинамические основы охлаждения и применение последнего в транспортных холодильных установках; конструкцию холодильного и вентиляционного оборудования вагонов; основные параметры, схемы, конструкции холодильных машин рефрижераторных вагонов; вопросы теоретического расчета теплотехнических параметров охлаждения; вопросы экономической эффективности применения охлаждения на железнодорожном транспорте; историю развития хладотранспорта в нашей стране; вопросы технического обслуживания энергохолодильных систем вагонов.

2. *Владеть* теплотехническими расчетами изотермических вагонов, динамическими и прочностными расчетами основных узлов компрессора.

3. *Получить представление* о современных тенденциях в развитии рефрижераторного подвижного состава, о новых способах получения и использования искусственного охлаждения, о некоторых вопросах рефрижераторной энергетики, в частности: тепловой инерции системы, гидродинамике раздачи воздуха, определении температур в грузовом помещении вагона.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Холодильная техника и ее развитие. Применение искусственного охлаждения на железнодорожном транспорте. История, состояние и перспективы развития хладотранспорта [7.1].

2.1. Теоретические основы искусственного охлаждения [7.1, 7.2, 7.3]

Физические основы получения низких температур. Типы холодильных машин. Термодинамические основы искусственного охлаждения.

Теоретические циклы холодильных машин в диаграммах $lgr-i$ и T-S. Действительные циклы, влияние внутренней регенерации на холодопроизводительность цикла. Расчеты теоретического и действительного циклов паровой одноступенчатой холодильной машины. Функциональные схемы и теоретические циклы паровых компрессионных машин. Циклы с двухступенчатым сжатием и двухступенчатым дросселированием. Расчеты теоретического цикла паровой холодильной машины.

Абсорбционные, газовые, воздушные, термоэлектрические, парожетонные холодильные машины.

Расчет холодильной установки в режиме теплового насоса. Общая классификация холодильных агентов. Требования, предъявляемые к холодильным агентам. Основные холодильные агенты, их характеристики и свойства, требования ГОСТа. Области применения холодильных агентов на железнодорожном транспорте. Смеси холодильных агентов. Основные энергоносители холодильных установок, их свойства и требования к ним.

Транспортирование и хранение холодильных агентов. Требования охраны труда при работе с холодильными агентами.

2.2. Компрессоры холодильных машин [7.1, 7.3]

Принцип действия и теоретический процесс поршневого компрессора холодильной машины. Рабочий процесс действительного компрессора и коэффициент подачи. Энергетические коэффициенты и удельные показатели компрессора.

Влияние регенератора и встроенного электродвигателя на рабочий процесс компрессора. Характеристики холо-

дильных машин, производительность, расчетные режимы, установленные ГОСТом.

Типы компрессоров и их классификация. Основные требования к компрессорам пассажирских и грузовых вагонов. Конструкция компрессора и их основные параметры. Кинематические схемы и динамика поршневых компрессоров, применяемых в транспортных холодильных установках.

Расчет основных параметров поршневого компрессора. Выбор компрессоров для эксплуатационных условий работы холодильных установок рефрижераторных и пассажирских вагонов. Сравнительная характеристика и развитие конструктивных схем поршневых холодильных компрессоров. Принципиальное устройство ротационных, винтовых и других компрессоров, области их применения.

Основные масла для компрессоров холодильных машин и их свойства. Взаимное растворение масла и холодильных агентов, влияние циркуляции масла на холодопроизводительность машины. Требования ГОСТа к маслам, применяемым для холодильных машин. Системы смазки поршневых компрессоров транспортных холодильных установок.

2.3. Теплообменные аппараты холодильных установок [7.1, 7.5, 7.6]

Типы и конструкции теплообменных аппаратов транспортных холодильных установок: конденсаторы, испарители, воздухоохладители, теплообменники, промежуточные сосуды и др. Тепловой и гидравлический расчет теплообменных аппаратов. Уравнение теплового баланса и теплопередачи. Понятие о водяном эквиваленте. Коэффициент теплопередачи аппарата. Особенности расчета коэффициента теплопередачи для гладких и оребренных труб.

Приведенный коэффициент теплопередачи. Определение поверхностей теплопередачи, конструктивное оформление наружных оребренных поверхностей, компоновка пучков труб. Определение конструктивных и геометрических размеров теплообменных аппаратов. Охлаждающие батареи

рефрижераторных вагонов. Расчеты и определение конструктивных размеров охлаждающих батарей. Вспомогательные аппараты холодильных установок. Основные положения аэродинамического расчета теплообменных аппаратов. Расчет и подбор вентиляторов и рассольных насосов. Трубопроводы, запорная и другая вспомогательная аппаратура.

Защитные мероприятия от коррозии теплообменных аппаратов. Методы технико-экономического анализа и пути интенсификации теплообмена теплообменных аппаратов транспортных холодильных установок.

2.4. Автоматизация работы холодильных установок рефрижераторных вагонов [7.1, 7.4]

Основы автоматического управления и выполняемые функции. Назначение и классификация приборов и средств автоматики холодильных машин. Основные элементы приборов и средств автоматики. Приборы ограничения и регулирования давления, температуры, разности давлений, уровня заполнения испарителя, воздухоохладителя, водорегулирующие вентили и др. Контрольно-измерительные приборы холодильных установок вагонов.

Схемы автоматизации работы холодильных установок вагонов. Автоматизация отдельных узлов холодильных установок: регулирование производительности компрессоров. Облегчение пуска, регулирование заполнения испарителя жидким хладагентом, регулирование давления конденсации в конденсаторах, автоматизация вспомогательных узлов, возврат смазочного масла в компрессор, удаление инея.

Защита агрегатов холодильной машины от опасных режимов работы. Принципы и средства автоматического регулирования системы кондиционирования воздуха в пассажирском вагоне.

Перспективы развития автоматизации холодильных машин.

2.5. Передача тепла через ограждение помещения кузова [7.1, 7.2, 7.4]

Теплоизоляция ограждения помещения изотермического вагона, ее физические и влажностные характеристики. «Сэндвич панели». Теплоизоляционные и гидроизоляционные материалы, применяемые в изотермических вагонах. Теплопритоки через ограждение вагона. Влажностный режим ограждения помещения вагона и пароизоляция. Влияние солнечной радиации на тепловой режим в вагоне.

Воздухообмен через ограждение помещения вагона. Тепловая инерция ограждения помещения вагона. Расчет теплоизбытков в помещении вагона. Методы измерений теплоизоляционных качеств и герметичности помещений вагонов. Изменение теплоизоляционных характеристик помещений вагона в процессе эксплуатации.

2.6. Холодильное и отопительное оборудование изотермических вагонов и контейнеров [7.1, 7.4, 7.5, 7.6]

Холодильное оборудование рефрижераторных секций автономных вагонов. Двухвагонные живорыбные секции. Холодильное оборудование с готовыми охлаждающими веществами (льдосоляное охлаждение, сухой лед, сжиженные газы, смеси) Вагоны-термосы, цистерны-термосы, контейнеры-термосы. Рефрижераторные контейнеры с готовыми охлаждающими веществами. Рефрижераторные контейнеры со встроенными моторкомпрессорными агрегатами. Рефрижераторные контейнеры со встроенными установками навесного типа. Определение холодопроизводительности установки рефрижераторного подвижного состава. Расчет эффективности приборов охлаждения вагонов и контейнеров с готовыми охлаждающими веществами. Определение суточного расхода охлаждающих веществ, габаритных размеров приборов охлаждения изотермических вагонов и контейнеров. Устройство, расположение и расчет производительности и размеров нагревательных устройств в изотермических вагонах и контейнерах. Технико-экономическая характеристика отопительного оборудования вагонов и контей-

неров. Пути совершенствования холодильного оборудования изотермического подвижного состава и контейнеров. Системы охлаждения в изотермических вагонах и контейнерах.

3. ВИДЫ РАБОТ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВРЕМЕНИ

Курс — 5

Всего часов — 240 ч.

Лекционные занятия — 12 ч.

Лабораторные занятия — 20 ч.

Курсовой проект — один.

Самостоятельная работа — 163 ч.

Зачет — 5 курс.

Экзамен — 5 курс.

4. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛЕКЦИОННЫХ ЗАНЯТИЙ

№	Наименование темы	Кол-во часов
1	Перевозки скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах.	4
2	Способы получения промышленного холода. Паровые компрессионные холодильные машины Теоретические основы искусственного охлаждения	4
3	Проектирование холодильного оборудования	4

Остальные вопросы, указанные в разделе 2 настоящей рабочей программы, студенты должны изучить самостоятельно.

5. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№	Наименование тем	Количество часов
1	Исследование работы паровой компрессионной холодильной машины	2 ч.
2	Изучение схемы работы АВР и взаимодействия основных узлов и приборов холодильной машины.	2 ч.
3	Проверка термометров	2 ч.
4	Измерение температуры при помощи термометров сопротивления	2 ч.
5	Измерение температуры при помощи термометров сопротивления	2 ч.
6	Изучение устройства и работы термографа и барографа	2 ч.
7	Измерение влажности воздуха	2 ч.
8	Измерение скорости движения воздуха	2 ч.
9	Регулировка термостата	2 ч.
10	Исследование работы дизель-холодильного оборудования АВР	2 ч.

6. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Проектирование и расчет основных узлов холодильного оборудования вагонов. Расчет теплотехнических показателей вагона.

7. ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Вешняков Б.И., Осадчук Г.И. Холодильное оборудование вагонов и кондиционирование воздуха. — М.: Транспорт, 1986.

Дополнительная

2. Бартош Е.Т. Энергетика изотермического подвижного состава. — М.: Транспорт, 1976.

3. Демьянков Н.В. Холодильные машины и установки. — М.: Транспорт, 1976.

4. Маханько М.Г., Сидоров Ю.П. и др. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах и на локомотивах. — М.: Транспорт, 1981.

5. Бакрадзе Ю.М. Рефрижераторные вагоны отечественной постройки. — М.: Транспорт, 1978.

6. Бакрадзе Ю.М. Рефрижераторные вагоны постройки ГДР. — М.: Транспорт, 1977.

Задание на курсовой проект

Курсовой проект предусматривает изучение студентом-заочником значительного количества вопросов современной холодильной техники и кондиционирования воздуха на железнодорожном транспорте, прогрессивной технологии ремонта и эксплуатации изотермических вагонов и установок кондиционирования воздуха в пассажирских вагонах, лучших форм организации и планирования производства. Одновременно в задании на контрольную работу предусмотрено изучение вопросов экономики, глубокое знание которых имеет большое значение в практической деятельности инженера на производстве.

Содержание курсового проекта

Курсовой проект выполняется после изучения теоретической части курса и выполнения предусмотренных учебным планом лабораторных работ.

Задание на курсовой проект предусматривает расчет и конструирование элементов холодильной установки или системы комфортного или технологического кондиционирования воздуха в вагоне. Курсовой проект складывается из двух частей:

1) общей части;

2) разработки узла холодильной установки изотермического подвижного состава или воздухо-кондиционирующей установки пассажирского вагона.

Общая часть курсового проекта состоит из определения расчетного коэффициента теплопередачи ограждения вагона, теплотехнических расчетов ограждения кузова, определения холодопроизводительности нетто и рабочей производительности компрессора, выбора типа и конструкции компрессора, расчетов теплопередающей поверхности теплообменных аппаратов и выбора их конструкции.

Разработка узла, в зависимости от задания, состоит из аналитического исследования теплопередачи и конструирования теплообменного аппарата или охлаждающего устройства (охлаждающая система, вентиляционная система, испаритель холодильной машины, испаритель-воздухоохладитель, теплообменник, конденсатор, охлаждающая система конденсатора, охлаждающая система компрессоров и т.д.), расчета системы вентиляции пассажирского помещения и выбора типоразмеров вентиляции, системы осушения воздуха пассажирского помещения.

Здесь же рассматриваются технико-экономические обоснования и основные требования охраны труда и техники безопасности при эксплуатации и ремонте холодильного оборудования.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и двух листов чертежей (схем).

Пояснительная записка должна содержать:

а) введение;

б) определение площади теплопередающих поверхностей ограждения кузова вагона;

в) расчет приведенного коэффициента теплопередачи ограждения помещения вагона;

г) теплотехнический расчет вагона и определение холодопроизводительности машины;

д) описание принятой системы охлаждения;

е) построение холодильного цикла в диаграммах $lg p-l$ или $s-T$,

ж) определение объемных и энергетических коэффициентов компрессора;

з) расчет основных параметров (диаметра цилиндра и хода поршня) компрессора;

и) расчет трубопроводов;

к) в зависимости от задания:

— определение площади теплообменного аппарата холодильной машины и его основных конструктивных параметров;

— расчет системы вентиляции пассажирского помещения и выбор типоразмера вентилятора;

— анализ тепла и теплоизоляционных свойств ограждения помещения вагона;

— расчет системы охлаждения конденсатора холодильной машины;

— расчет системы осушения воздуха пассажирского помещения с построением цикла обработки воздуха на диаграмме « $i-d$ »;

л) технико-экономические обоснования;

м) основные требования охраны труда и техники безопасности при эксплуатации холодильной или климатической установки вагона.

На первом листе **графической части** курсового проекта должна быть показана схема размещения холодильного оборудования на вагоне с указанием основных размеров, не-

обходимых для теплотехнических расчетов элементов ограждения.

На втором листе дается эскиз элемента, предусмотренного заданием (теплообменный аппарат холодильной машины, система вентиляции помещения вагона, система охлаждения конденсатора или система осушения воздуха пассажирского помещения и т.д.), с необходимыми разрезами и сечениями.

Исходные данные на курсовой проект

Исходными данными для проектирования являются:

- а) тип вагона, для которого следует спроектировать элемент системы кондиционирования или холодильной машины;
- б) грузоподъемность для изотермического или количество мест для пассажирского вагонов;
- в) основные наружные размеры кузова;
- г) параметры наружного воздуха и географическое положение железнодорожного участка, на котором предполагается эксплуатация вагона;
- д) состояние груза перед погрузкой его в вагон;
- е) элемент холодильной машины, системы вентиляции или ограждения помещения вагона, подлежащий расчету и конструированию.

Исходные данные приведены в табл. 1.

Выбор варианта задания на курсовой проект

Вариант задания на курсовой проект определяется из табл. 1 по последней цифре шифра студента.

Преподаватель может заменить вариант задания или внести коррективы в вариант задания с учетом производственной деятельности студента. Студенту может быть также предложено индивидуальное задание на курсовой проект в зависимости от темы его дипломного проекта. Изменения в задании при этом должны быть согласованы с кафедрой.

Таблица 1

№ варианта	Тип вагона	Исходные данные										Элемент для конструирования и расчета		
		Грузоподъемность вагона, т	Кол. мест для пассажиров	Наружная длина кузова, м	Наружная ширина кузова, м	Высота боковой стены снаружи, м	Радиус сеч. крыши в средней части, м	Радиус сеч. крыши у боковых стен, м	Температура нар. воздуха, град. С	Относит. влажность нар. воздуха, %	Ориентация ж.д. участка по сторонам света		Широта ж.д. участка, град.	Состояние груза перед погрузкой
1	Грузовой рефрижераторной секции	42	-	21	3,1	2,7	2	0,4	29	50	Север-юг	43	Охлажденный	Конденсатор
2	Пассажирский мягкий	-	32	23,6	3,1	2,4	3,6	0,4	38	30	Восток-запад	38	-	Вентиляция пассажирского помещения
3	Пассажирский купированный жесткий	-	38	23,6	3,1	2,3	3,5	0,5	34	30	Север-юг	46	-	Система охлаждения конденсатора
4	Рефрижераторный автономный	39	-	21	3,1	2,7	2	0,4	30	50	Север-юг	43	Охлажденный	Ограждение грузового помещения
5	Пассажирский купированный жесткий	-	38	23,6	3,1	2,4	3,5	0,5	39	30	Восток-запад	38	-	Испаритель - воздухоохладитель
6	Пассажирский межобластной	-	76	23,6	3,1	2,4	3,6	0,4	29	50	Север-юг	43	-	Конденсатор
7	Грузовой рефрижераторной секции	43	-	21	3,1	2,8	2,6	0,4	38	30	Восток-запад	43	Неохлажденный	Испаритель
8	Пассажирский жесткий платформный	-	58	23,6	3,1	2,4	3,6	0,5	34	35	Восток-запад	40	-	Ограждение пассажирского помещения
9	Рефрижераторный автономный	40	-	21	3,1	2,7	2	0,4	34	30	Восток-запад	55	Мороженный	Конденсатор

Методические указания по выполнению курсового проекта

Общие положения

Перед выполнением курсового проекта студент должен изучить рекомендуемую литературу по дисциплине и по возможности ознакомиться с работой вагонного депо, где производится ремонт или осмотр секций и автономных вагонов изотермического подвижного состава и пассажирских вагонов с установками кондиционирования воздуха. Необходимо также ознакомиться с приказами, распоряжениями и другими материалами МПС, относящимися к эксплуатации и ремонту изотермического подвижного состава.

При работе над курсовым проектом необходимо помнить, что разрабатываемая конструкция должна базироваться на современных методах расчета и конструирования, а также на достижениях передовых вагонных депо и заводов, разрабатывающих и применяющих прогрессивные методы ремонта холодильных и воздухо-кондиционирующих установок, их узлов и агрегатов, прогрессивную технологию, совершенные формы организации планирования производства.

В пояснительной записке должны быть приведены теплотехнические и технико-экономические расчеты, правила техники безопасности и требования охраны труда при эксплуатации и ремонте холодильного оборудования изотермических вагонов и агрегатов установки кондиционирования воздуха пассажирских вагонов.

В пояснительную записку необходимо включить схемы, диаграммы, чертежи, рисунки и другие материалы, поясняющие приводимые расчеты. Например, в пояснительную записку следует поместить схему компрессионной холодильной машины, сечения элементов ограждения кузова вагона, цикл холодильной машины, индикаторную диаграмму работы компрессора, схему расположения оборудования холодильной установки в цельнометаллическом вагоне, характеристику вентиляционной системы пассажирского

вагона, циклы тепловой и влажностной обработки воздуха и др. Приводимые в пояснительной записке эскизы, схемы и т.д. должны выполняться с соблюдением ГОСТов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Описывать устройство, конструкцию и принципы работы принятой системы охлаждения, а также оборудования, агрегатов отдельных узлов и т.д. следует кратко.

Необходимо выделять технико-экономическую оценку описываемых устройств и отдельных узлов и характеризовать эффективность их действия, обращая внимание на особенности конструкции и эксплуатации холодильной машины или системы кондиционирования воздуха, преимущества и недостатки рассматриваемой системы, узла, прибора и т.д.

При расчетах необходимо ссылаться на источники, из которых были взяты расчетные формулы и значения входящих в них величин. Ссылка дается в виде порядкового номера источника, заключенного в прямоугольные скобки, согласно списку литературы с указанием страницы (например, [5, с. 161]).

Перечень использованной литературы приводится в конце пояснительной записки.

При расчетах подробные арифметические действия приводить не следует: в записке дается расчетная формула, числовая подстановка величин, входящих в формулу, и окончательный результат с указанием размерности. За единицу времени при теплотехнических расчетах принимать 1 ч.

Пояснительную записку следует писать чернилами, разборчивым почерком на листах писчей бумаги формата А4 с оставлением полей для замечаний рецензента. После окончательного оформления записки листы брошюруются. На титульном листе записки указывается наименование университета и кафедры, название контрольной работы, фамилия, инициалы, домашний адрес и учебный шифр студента, дата выполнения проекта. В конце пояснительной записки ее автор расписывается. Объем записки должен составлять 30–50 страниц.

Графическая часть проекта выполняется в карандаше на листах чертежной бумаги форматов А1. Чертежи оформляют в соответствии с требованиями ГОСТов ЕСКД.

Пояснительную записку и чертежи разрешается выполнять на ЭВМ.

Определение площади теплопередающих поверхностей ограждения кузова вагона

По основным параметрам и характеристике вагона (типу, грузоподъемности, населенности, размерам кузова и др.) выполняется общая планировка вагона. При планировке кузова выделяются помещения, не обслуживаемые системой кондиционирования — тамбуры, машинные отделения и т.п.

После этого определяют площадь теплопередающих поверхностей элементов ограждения пассажирского или грузового помещений.

Рекомендуется вести подсчеты отдельно для боковых и торцовых стен, окон, пола и крыши. Крышу следует рассматривать как поверхность, образованную участками цилиндрических поверхностей заданных радиусов. Остальные элементы ограждения принимать плоскими.

При определении поверхностей ограждения следует воспользоваться материалами, приведенными в [3, 5, 6, 8, 9, 10].

Определение приведенного коэффициента теплопередачи ограждения помещения вагона

Значение приведенного коэффициента ограждения помещения вагона вычисляется по формулам, приведенным в [1, 3, 5, 6, 7, 10, 13]. При этом коэффициенты теплопередачи элементов ограждения (крыши, пола, окон, боковых и торцовых стен) вычисляют, принимая элемент ограждения за многослойную плоскопараллельную стенку.

Коэффициент теплоперевода на внутренней поверхности ограждения принимают: для стен и крыш $9 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, для пола $6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Величину коэффициента теплоперевода на наружной поверхности ограждения, зависящую от средней скорости движения поезда, вычисляют по формуле

$$\alpha = \alpha_0 + \frac{0,7(v+15)}{L^{0,2}} \quad (1)$$

где α_0 — коэффициент, учитывающий лучистый теплообмен (для летних условий $\alpha_0 = 9 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$);

L — длина теплопередающей поверхности помещения вагона, м.

Значение средней скорости движения поезда v , км/ч, выбирается студентом самостоятельно.

Толщина однородных слоев ограждения и другие линейные размеры вагона выбираются самостоятельно см. [3, 6, 8, 9, 10].

При теплотехнических расчетах вагонов не учитывают часть кузова, занятую “холодными” тамбурами пассажирских вагонов или машинными отделениями рефрижераторного подвижного состава.

Порядок расположения слоев ограждения с указанием их толщины для каждого элемента ограждения показывают в виде эскизов в пояснительной записке или узлами и сечениями на первом листе графической части работы.

Для теплоизоляции ограждения следует применять новые пористые и ячеистые пластмассы [3], отвечающие требованиям, предъявляемым к материалам для ограждения помещения вагона.

Кузов вагона внутри имеет продольные и поперечные элементы жесткости, выполненные из проката. В местах их размещения создаются несквозные тепловые мостики, увеличивающие коэффициент теплопередачи ограждения. Во время эксплуатации вагона возможно появление зазоров между пакетами изоляции. При выполнении контрольной работы эти факторы следует учитывать увеличением значений коэффициентов K_1 , полученных при подсчете, для пассажирских вагонов примерно на 60% и для рефрижераторного подвижного состава на 50%.

Если ограждение кузова вагона является элементом для расчета и конструирования, то наличие тепловых мостиков следует учитывать более точно, применяя метод, предложенный К.Ф. Фокиным.

При вычислении приведенного коэффициента теплопередачи ограждения следует руководствоваться [3, 6, 8, 9, 10].

Теплотехнический расчет вагона

Параметры воздуха в пассажирском помещении следует выбирать по условиям комфорта. Для него нужно принимать температурный режим в зависимости от температуры воздуха снаружи вагона по [3, 4, 6] и относительную влажность в пределах 40–60%.

Испаритель холодильной машины при комфортном кондиционировании воздуха должен обеспечить отвод всего избыточного тепла, поступающего в пассажирское помещение через ограждение, с воздухом, подаваемым вентиляцией и инфильтруемым, от действия солнечной радиации, от электрических машин и аппаратов, от пассажиров, а в случае осушения воздуха — и от конденсата, выпадающего из охлаждаемого воздуха на поверхность испарителя.

Расчет параметров воздуха необходимо вести по условию мокрого охлаждения с помощью тепловой диаграммы влажного воздуха «i-d». Методика расчета приведена в [5, 11, 18].

В пояснительной записке должна быть показана принципиальная схема воздушных каналов системы кондиционирования с использованием рециркуляции воздуха. На схеме следует обозначить параметры воздуха в наиболее характерных точках.

Количество тепла, прошедшее через ограждение, надо подсчитывать по приведенному коэффициенту теплопередачи ограждения, определенному в проекте. Расчетная формула имеется в [3, 6, 7, 10].

С инфильтруемым воздухом поступает в помещение примерно 15% тепла от количества, прошедшего через ограждение.

Для определения тепла, вносимого наружным воздухом при вентиляции, нужно предварительно задаться количеством наружного воздуха, подаваемым на одного пассажира [4, 6].

Теплоприток в помещение вагона от действия солнечной радиации следует определять по среднесуточной интенсивности солнечного облучения, коэффициентам поглощения солнечных лучей, коэффициентам теплопередачи облучаемых элементов ограждения и коэффициенту теплоперехода на наружной поверхности. При определении тепла, поступающего через застекленную часть окон, необходимо учитывать прохождение тепловых лучей через стекла. Могут быть использованы расчетные формулы, имеющиеся в [3, 6, 7, 12].

Тепловыделения $Q_{эл}$ работающего электрического оборудования, размещенного в вагоне, подсчитывают с учетом мощности двигателя вентилятора, его коэффициента полезного действия и мощности аппаратуры автоматического управления, которая равна 0,3–0,4 кВт. Формулы для вычисления $Q_{эл}$ приведены в [3, 6, 12].

Люди, находящиеся в пассажирском помещении, выделяют как скрытое, так и ощутимое тепло. При тепловой и влажностной обработке воздуха следует учитывать обе составляющие. Величины тепловыделений человека и расчетные формулы приведены в [3, 4].

Порядок теплотехнического расчета грузового помещения вагонов рефрижераторного подвижного состава зависит от рода груза, предусмотренного заданием. В проекте следует принимать, что под погрузку подают вагоны предварительно охлажденными.

При перевозке мороженого груза тепло в грузовое помещение вагона поступает снаружи через ограждение и неплотности, вследствие разности значений температуры воздуха снаружи и внутри, а также от солнечной радиации, действующей на вагон.

Теплоприток через ограждение пропорционален площади наружной поверхности ограждения, приведенному коэффи-

циенту теплопередачи, определенному ранее, и градиенту температуры. За расчетное значение температуры воздуха в грузовом помещении для мороженого груза рекомендуется принимать минус 20°C.

Через неплотности в помещении поступает 10% количества тепла, прошедшего через ограждение.

Теплоприток в грузовое помещение от действия солнечной радиации определяют так же, как и для пассажирского помещения, но при отсутствии застекленных частей ограждения.

При транспортировании свежих плодов и овощей, загружаемых в вагон предварительно охлажденными, имеют место следующие теплопритоки в грузовое помещение:

- 1) через ограждение вследствие градиента температуры воздуха снаружи и внутри;
- 2) через неплотности;
- 3) от солнечной радиации;
- 4) от вентиляционной установки и циркуляционных агрегатов;
- 5) от груза;
- 6) с наружным воздухом, подаваемым вентиляцией.

Интенсивность первых четырех теплопритоков определяется так же, как и для мороженого груза. В рассматриваемом случае за расчетное значение температуры воздуха в грузовом помещении принимается — 4°C. При подсчете четвертого источника следует суммировать мощность электродвигателей агрегатов вентиляции и циркуляции.

Свежие плоды и овощи в процессе жизнедеятельности выделяют тепло. Приток тепла от груза пропорционален интенсивности тепловыделения груза и весу груза

$$Q_{гр} = qG_{гр}, \quad (2)$$

где q — тепловыделение груза, кВт/т;
 $G_{гр}$ — масса груза, т.

Значения для различных грузов приведены в [7, 10].

Количество тепла Q_b поступающее с наружным воздухом, подаваемым вентиляцией, зависит от интенсивности вентиляции и разности энтальпий воздуха снаружи и внутри грузового помещения. Величину Q_b можно вычислить по формулам, приведенным в [3]. Теплосодержание воздуха при вычислении Q_b можно определить по его температуре и относительной влажности с помощью диаграммы влажного воздуха $i-d$ или расчетным путем по формулам, имеющимся в [4]. Относительную влажность воздуха в грузовом помещении принимают по [3, 9, 10].

Количество тепла $Q_{вц}$, выделяемого вентиляторами-циркуляторами в единицу времени, размещенными с двигателями в грузовом помещении, пропорционально количеству электрической энергии, подведенной к электромоторам. $Q_{вц}$ подсчитывают с учетом числа вентиляторов-циркуляторов и времени их работы в течение суток по формулам, приведенным в [3].

Если грузят плоды и овощи, не подвергавшиеся термической обработке, то их охлаждают в вагоне. При перевозке таких грузов суммарный теплоприток в грузовое помещение складывается из шести выше рассмотренных факторов, имеющих место при перевозке охлажденного груза, плюс тепло, отнимаемое от груза в процессе его охлаждения. Интенсивность последнего теплопритока подсчитывают по формуле, приведенной в [10].

Вес груза нетто $G_{гр}$ и вес тары G_t связаны между собой соотношением $G_t = 0,15 G_{гр}$. Вес груза брутто следует принимать, исходя из заданной грузоподъемности вагона и норм загрузки рефрижераторного подвижного состава, взятым из [3, 11], с учетом наиболее эффективного использования полезного объема грузового помещения вагона. Значения теплоемкостей груза и тары берутся из [10, 13].

Продолжительность охлаждения груза вычисляется аналитически [3, 12]. Для ориентировочных расчетов время охлаждения груза можно принять равным 50 ч.

Построение холодильного цикла

Холодильный цикл необходим для расчета параметров холодильной машины. Цикл строят по параметрам узловых точек с помощью термодинамической диаграммы «lg p-i» или «T-s» для соответствующего холодильного агента, который должен быть выбран по условиям работы и назначению машины.

В конденсаторе тепло передается от холодильного агента охлаждающей среде. Поэтому температуру конденсации принимают на 8–12° выше средней температуры наружного воздуха, проходящего через конденсатор.

Кипение холодильного агента в испарителе происходит за счет тепла, отнимаемого от охлаждаемого объекта. Следовательно, температура кипения должна быть ниже средней температуры воздуха, продуваемого через испаритель, при комфортном кондиционировании на 12–18° и в рефрижераторном подвижном составе на 10–12°.

Давления холодильного агента в конденсаторе P_k и испарителе P_o принимаются по выбранным значениям температуры конденсации и кипения с помощью термодинамических диаграмм или таблиц, имеющих в [5].

После установления величин P_k и P_o следует сделать проверку на количество ступеней сжатия холодильного агента по допустимой величине отношения давлений P_k / P_o и их разности $P_k - P_o$.

Если хотя бы одна из этих величин превышает рекомендованную стандартом [16], то следует принимать цикл с двухступенчатым сжатием.

Для холодильной машины двухступенчатого сжатия промежуточное давление принимается равным квадратному корню из произведения значений давлений конденсации и кипения.

В пояснительной записке необходимо показать холодильный цикл установки. Для построения его узловых точек студент должен самостоятельно принять:

— температуру холодильного агента перед всасыванием в компрессор с учетом некоторого перегрева пара;

— температуру холодильного агента при выходе из переохладителя, если принят цикл с переохлаждением.

Полезно свести параметры хладагента для характерных точек цикла в таблицу примерно такой формы:

Параметры	Номер точек		
	1	2	и т.д.
Температура			
Давление			
Теплосодержание			

При использовании в качестве холодильного агента фреона-12 может быть осуществлен холодильный цикл с частичной регенерацией тепла. В этом случае в схему холодильной машины вводится теплообменник.

Выбор схемы холодильной машины

Холодильная машина работает в соответствии с холодильным циклом. Ее схема должна быть составлена таким образом, чтобы все термодинамические процессы, необходимые для получения охлаждающего эффекта, осуществлялись наиболее экономично.

В схеме машины необходимо предусмотреть автоматическое обеспечение безаварийной работы и регулирование холодопроизводительности, подачи холодильного агента в испаритель, температурного режима в помещении вагона, пуска компрессора.

В пояснительной записке следует привести описание и показать принципиальную схему холодильной машины. Описание должно отразить принцип действия машины и назначение ее агрегатов и приборов.

При разработке схемы холодильной машины следует использовать опыт холодильного машиностроения, а также отечественного и зарубежного вагоностроения. При этом могут быть использованы литературные источники [3, 5, 6, 8, 9, 10, 13].

Определение рабочих коэффициентов компрессора

Производительность компрессора зависит от коэффициента подачи λ , который дает общую оценку потерь действительного компрессора в зависимости от объемного коэффициента λ_c , коэффициентов дросселирования $\lambda_{др}$, подогрева $\lambda_{п}$ и плотности $\lambda_{пл}$. Величину λ можно определить по формуле

$$\lambda = \lambda_c \lambda_{др} \lambda_{п} \lambda_{пл} \quad (3)$$

Величины коэффициентов λ_c , $\lambda_{др}$, $\lambda_{п}$ предварительно вычисляют по формулам, приведенным в [3, 5, 13].

При выполнении проекта значение понижения давления при всасывании можно принять $0,05 \text{ кгс/см}^2$, величину относительного мертвого пространства $0,04\text{--}0,06$ и понижения давления при нагнетании $0,1 \text{ кгс/см}^2$. Величину коэффициента плотности при вычислениях принимают в пределах $0,96\text{--}0,98$.

Эффективная мощность, которую следует подвести к валу компрессора, зависит от энергетических коэффициентов: индикаторного и механического. Опытные величины механического КПД компрессора равны $0,9\text{--}0,93$.

При двухступенчатом сжатии коэффициент подачи рассчитывают отдельно для каждой ступени.

Для компрессора низкой ступени вместо давления конденсации принимают промежуточное давление, а для высокой ступени — величину последнего принимают вместо давления испарения.

Определение основных параметров компрессора

Холодильная машина должна обладать достаточной холодопроизводительностью для отвода суммарного количества тепла, поступающего в помещение вагона.

Следует принимать во внимание количество грузовых помещений, приходящихся на одну холодильную машину.

Для расчета диаметра и хода поршня компрессора могут быть использованы формулы, имеющиеся в [3, 5, 13].

Удельную весовую холодопроизводительность рабочего тела можно определить по разности энтальпий точек цикла всасывания и конца дросселирования за вычетом тепла, реализованного в теплообменнике.

Отношение диаметра цилиндра к ходу поршня принять равным: для фреоновых компрессоров в пределах $1,25\text{--}1,65$ и для аммиачных $0,9\text{--}1,25$. Для быстроходных компрессоров следует брать верхние пределы этих отношений.

Выбранные ход поршня и частоту вращения коленчатого вала проверяют на допускаемую среднюю скорость движения поршня St [3, 5, 13]. Максимальное значение St при $n = 800\text{--}1800 \text{ об/мин}$ принимать $2\text{--}4,5 \text{ м/с}$ и при $n = 1800\text{--}2000 \text{ об/мин}$ $4,5\text{--}5 \text{ м/с}$.

Число цилиндров компрессора, диаметр и ход поршня должны соответствовать величинам, рекомендуемым ГОСТом [16].

Эффективную мощность, подводимую к компрессору, подсчитывают по работе, затрачиваемой в холодильном цикле, весовой производительности компрессора и энергетическим коэффициентам. Необходимые расчетные формулы имеются в [3, 5, 13].

Работа, необходимая для сжатия в компрессоре 1 кг рабочего тела, соответствует разности энтальпий точек конца и начала адиабатического процесса холодильного цикла.

Для холодильной машины двухступенчатого сжатия достаточно определить основные параметры одного из компрессоров (высокой или низкой ступени сжатия). Компрессор для расчета выбирают самостоятельно.

Определение диаметров трубопроводов

Диаметр трубопровода определяют по часовой производительности компрессора, допустимой скорости движения и удельному объему холодильного агента в расчетном сечении. Расчетная формула и значения регламентированной скорости движения холодильного агента имеются в [13].

По значениям, полученным подсчетом, подбирают трубы согласно сортаменту, рекомендованному ГОСТом: для фреоновых машин медные трубы [18] и для аммиачных машин стальные бесшовные трубы [19].

Расчет теплообменных аппаратов

Конечной целью расчета аппаратов является определение площади теплопередающей поверхности, которую следует считать по тепловой нагрузке, приходящейся на аппарат, коэффициенту теплопередачи и средней логарифмической разности температур.

Тепловая нагрузка на испаритель, конденсатор или теплообменник определяется по разности энтальпий соответствующих точек холодильного цикла и количеству рабочего тела, прошедшему через любое поперечное сечение системы машины в течение часа. Необходимые расчетные формулы, а также значения коэффициентов теплопередачи имеются в [3, 5, 13].

При конструировании теплообменных аппаратов следует учитывать рекомендации, принятые при конструировании стационарных холодильных машин [3, 5, 13], а также специфику условий работы и размещения аппаратов в вагонах [3, 5, 6].

Расчет системы осушения воздуха

Система вентиляции пассажирского помещения при высоком содержании влаги в наружном воздухе и его охлаждении в вагоне не в состоянии обеспечить необходимую относительную влажность воздуха в пассажирском помещении. При этих условиях нужно искусственно осушить воздух, подаваемый в пассажирское помещение.

Рациональным способом осушения воздуха является его охлаждение ниже точки росы и осаждение конденсата на теплопередающую поверхность испарителя (воздухоохладителя).

Для определения количества влаги, выпавшей при этом из воздуха, а также необходимых параметров воздуха сле-

дует построить цикл для обрабатываемого воздуха по диаграмме «i-d». Если температура воздуха в результате осушения опустится ниже значения, допустимого для подачи в пассажирское помещение, то необходим подогрев воздуха. Подогрев можно осуществить смешением осушенного воздуха с рециркулируемым.

Параметры смеси могут быть определены по диаграмме «i-d» или по аналитическим зависимостям [3, 4, 6].

Расчет вентиляции

Количество воздуха, подаваемое в пассажирское помещение вентиляцией, следует определять по тепловому балансу (см. Теплотехнический расчет вагона). Принятое ранее количество наружного воздуха, подаваемого в вагон, надо проверить на предельно допустимое содержание углекислого газа в пассажирском помещении по формуле, имеющейся в [3].

Потерю напора в вентиляционной системе принимают равной 60 кгс/м². Эффективную мощность двигателя вентилятора можно подсчитать по формуле, приведенной в [3, 6].

Размеры поперечного сечения нагревательного канала определяют по скорости движения воздуха, величину которой в начале канала следует принять равной 5 м/с. Далее вычисляют площадь поперечного сечения воздуховода по формулам, приведенным в [3, 6].

При конструировании вентиляционной системы необходимо учитывать опыт вагоностроения [3, 6].

Анализ тепло- и влагоизоляционных качеств ограждения

Для узла ограждения, включающего тепловой мостик (элемент каркаса кузова), надо определить коэффициент теплопередачи методом параллельных или перпендикулярных сечений или круговых потоков [6]. Конструкция узла ограждения может быть взята из [3, 6, 8, 9, 10].

Для любого сечения узла следует построить графики зависимости температуры и влагосодержания диффундиру-

ющего воздуха от координаты по направлению, перпендикулярному стенке.

Необходимые расчетные формулы имеются в [3]. Физические константы материалов ограждения даны в [3, 6, 13].

При конструировании участка ограждения слои различных материалов (теплоизоляционных и влагозащитных) необходимо располагать согласно требованиям влажностного режима ограждения.

Расчет системы охлаждения конденсатора

В вагонных холодильных машинах применяют конденсаторы с воздушным охлаждением. Количество воздуха, которое надо продуть через конденсатор, подсчитывают по формуле, приведенной в [3, 5, 6].

Тепловая нагрузка на конденсатор приближенно определяется по разности энтальпий соответствующих точек холодильного цикла и весовой производительности компрессора или вычисляется по соответствующим формулам [3, 5, 6].

Величину i_k следует определять по параметрам воздуха, выходящего из конденсатора с помощью «i-d» диаграммы влажного воздуха. В проекте следует принять, что в конденсаторе воздух нагревается на 10°C при неизменном влагосодержании.

Подбор вентилятора и определение эффективной мощности двигателя производить так же, как при расчете вентиляции.

Потерю напора в конденсаторном агрегате при скорости движения воздуха в живом сечении 5–6 м/с необходимо принимать приблизительно 25 кгс/м².

При конструировании системы охлаждения конденсатора рекомендуется учитывать опыт холодильного машиностроения и вагоностроения [3, 5, 6].

Технико-экономические обоснования и вопросы охраны труда и техники безопасности при эксплуатации холодильной или климатической установки вагона разрабатываются в соответствии с указаниями, приведенными в [3] и другой рекомендуемой литературе.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Правила перевозок грузов.
2. Техника холодильная. Термины и определения. ГОСТ 24392-80
3. Вешняков Б.И., Осадчук Г.И. Холодильное оборудование вагонов и кондиционирование воздуха. — М.: Транспорт, 1986.
4. Тетернов М.И., Лысенко И.П., Парфенов В.Н. Железнодорожный хладотранспорт. — М.: Транспорт, 1987.

Дополнительная

5. Демьянков Н.В. Холодильные машины и установки. — М.: Транспорт, 1976.
6. Зворыкин М.Л., Черкез В.М. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах. — М.: Транспорт, 1977
7. Бартош Е.Т. Энергетика изотермического подвижного состава. — М.: Транспорт, 1976.
8. Кржимовский В.Е. и др. Рефрижераторные вагоны отечественной постройки. — М.: Транспорт, 1976
9. Бакрадзе Ю.М. Рефрижераторные вагоны постройки ГДР. — М.: Транспорт, 1977
10. Яковлев И.Н., Шаповаленко М.М. Изотермический подвижной состав. — М.: Транспорт, 1977
11. Саутенков В.А., Ягодин С.К. Изотермический подвижной состав. — М.: Транспорт, 1986
12. Китаев Б.Н. Теплообменные процессы при эксплуатации вагонов. — М.: Транспорт, 1984
13. Холодильная техника. Справочник в трех томах. — М.: Пищевая промышленность, 1978
14. Канторович В.И. Основы автоматизации холодильных установок. — М.: Пищевая промышленность, 1968
15. Теплотехнический справочник, 1-2 т. — М.: Энергия, 1975, 1976.

Вспомогательный материал

16. ГОСТ 6492-81 Компрессоры поршневые холодильные производительностью не менее 5,2 кВт. Типы, основные параметры.
17. ГОСТ 7475-77. Компрессоры поршневые холодильных машин производительностью не менее 3,5 кВт. Общие технические условия.
18. ГОСТ 617-72 Трубы медные. Технические условия.
19. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячекатаные. Сортамент.

ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВАГОНОВ

Рабочая программа
и задание на курсовой проект
с методическими указаниями

Редактор *И.А. Четверикова*
Компьютерная верстка *Н.Ф. Цыганова*

ЛР № 020307 от 28.11.91

Тип. зак.	Изд. зак. 322	Тираж 1000 экз.
Подписано в печать	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. 2,0	Уч.-изд. л.	Формат 60×90 ¹ / ₁₆

Издательский центр РГОТУПСа,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Типография РГОТУПСа, 107078, Москва, Басманный пер., 6