

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

**М.В. Хомякова**

## **ТЕПЛОМЕТРИЯ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

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

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2023

УДК 536

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания  
ФГБОУ ВО «КГТУ» М. Н. Альшевская

Хомякова, М. В.

Теплометрия в пищевой промышленности: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. 15.03.02 Технологические машины и оборудование / М. В. Хомякова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 32 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Теплометрия в пищевой промышленности» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекций по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям, отражены рекомендации для выполнения контрольной работы студентами заочной формы обучения.

Табл. 3, список лит. – 6 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 апреля 2023 г., протокол № 4

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 21 апреля 2022 г., протокол № 3

УДК 536

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2023 г.  
© Хомякова М. В., 2023 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	15
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	23
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	30
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	31

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Теплометрия в пищевой промышленности» предназначена для подготовки обучающихся в области технологических машин и оборудования.

Целью освоения дисциплины является формирование знаний в области теплометрии как составной части метрологии, определение тепловых потоков в различных технологических процессах, получение знаний в области переходных процессов пищевой промышленности и характера изменения их параметров.

Задачи изучения дисциплины: освоение навыков в аналитическом определении температурного поля в объекте тепловой обработки при его нагревании или охлаждении, в расчетах энергетических затрат, интенсивности теплообмена и продолжительности нагревания или охлаждения при термической обработке пищевых продуктов; формирование представления о роли теплометрии, применении тепломеров в экспериментальном определении теплофизических характеристик пищевых продуктов.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

*знать*: роль теплометрии как раздела науки о метрологии; методы определения тепловых потоков в различных технологических процессах; методы определения теплофизических характеристик пищевых продуктов, как объектов технологических процессов;

*уметь*: аналитически определять температурное поле в объекте тепловой обработки при его нагревании или охлаждении; определять расчетным или экспериментальным методом динамические характеристики аппаратов;

*владеть*: возможностью расчета энергетических затрат, интенсивности теплообмена и продолжительности процесса при термической обработке пищевых продуктов.

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

При реализации дисциплины «Теплометрия в пищевой промышленности» организуется практическая подготовка путем проведения практических работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Для успешного освоения дисциплины «Теплометрия 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.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

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

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины относятся:

- задания и контрольные вопросы к практическим работам;
- задания к контрольной работе (заочная форма обучения);

К зачету допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины;
- получившие положительную оценку при выполнении контрольной работы (для заочной формы обучения).

Промежуточная аттестация по завершению курса проводится в виде зачета, который выставляется по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости.

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

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Критерий	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно- корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках	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

Система оценок  Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	поставленной задачи			
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

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

Для успешного освоения дисциплины «Теплометрия в пищевой промышленности» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям и 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 «Теплометрия 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, 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 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 способам измерения тепловых потоков с применением специальных датчиков (тепломеров). Описаны методы определения теплофизических характеристик (теплоемкости, коэффициентов тепло- и температуропроводности), основанные на применении тепломеров. При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, ЭИОС, 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;
- выполнение и защита контрольной работы (заочная форма обучения).

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 ЛЗ

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	Теплофизические свойства пищевых продуктов
2	Стационарные методы определения теплофизических характеристик твердых материалов
3	Датчики теплового потока
4	Теплометрическое исследование свойств сублимированных продуктов в вакууме
5	Экспериментальная установка для определения теплофизических характеристик в вакууме
6	Нестационарные методы определения теплофизических характеристик

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. Теплофизические свойства пищевых продуктов**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Термометрия.
2. Температура.
3. Плотность теплового потока.
  1. Температурное поле, изотермические поверхности, линии тока тепла.
  2. Закон теплопроводности Фурье. Градиент и падение температуры.
  3. Коэффициент теплопроводности.
  4. Дифференциальное уравнение теплопроводности.

*Ключевые понятия:* термометрия, температура, плотность теплового потока, температурное поле, изотермические поверхности, линии тока тепла, закон Фурье, коэффициент теплопроводности, дифференциальное уравнение теплопроводности

*Литература:* [4, 6]

### *Методические рекомендации*

В данной теме необходимо ознакомиться с основными понятиями курса «Термометрия в пищевой промышленности». Изучить цели и задачи дисциплины, ее место в структуре образовательной программы, а также планируемые результаты освоения дисциплины.

Рассмотреть основные понятия о термометрии и теплотометрии как самостоятельных разделах метрологии и определения, такие как температура и плотность теплового потока – качественные и количественные характеристики процесса теплопереноса в аппаратах пищевой промышленности.

Теплопроводность – процесс переноса теплоты, когда тело не перемещается в пространстве или путем соприкосновения тел (или их частей), имеющих различную температуру. Механизм передачи теплоты в этом случае носит молекулярный или электронный характер. Теплофизика считает любое тело состоящим из мельчайших частиц. В элементах тела, которые подвержены нагреванию, молекулы начинают двигаться, в результате чего возникают упругие волны, которые передаются от большей температуры к меньшей. Такой молекулярный перенос теплоты наблюдается в твердых телах, диэлектриках, жидкостях и газах.

В металлах к этому явлению добавляется движение свободных электронов, поэтому теплопроводность металлов выше, чем в диэлектриках, жидкостях и газах.

Всякое физическое явление и процесс распространения тепла, протекает во времени и пространстве и связано с понятием поля физической величины. Поэтому при изучении данной темы необходимо ввести такие понятия как температурное поле, изотермическая поверхность и линии теплового тока.

Необходимо изучить понятие градиента физической величины. Вектор градиента температуры всегда направлен в сторону увеличения температур, а его начало нормально к изотермической поверхности.

Любая изотермическая поверхность разделяет тело на две области: с большей и меньшей температурой. Теплота переходит через изотермическую поверхность в область более низкой температуры.

Количественно интенсивность теплообмена характеризуется плотностью теплового потока. Французский ученый Ж. Б. Фурье в 1807 г. установил, что плотность теплового потока или интенсивность теплового потока пропорциональна градиенту температуры. Особое внимание в этой теме необходимо уделить основному уравнению теплопроводности – закону Фурье.

Множитель пропорциональности в законе Фурье, называется коэффициентом теплопроводности и является физической величиной, характеризующей способность вещества проводить тепло. В данной теме необходимо ознакомиться с характеристиками этого коэффициента.

В данной теме будет рассмотрено дифференциальное уравнение теплопроводности, которое является математической зависимостью, связывающей между собой все физические величины, характеризующие явление теплопроводности внутри объема. Если такую связь найти явно относительно температуры, то можно определить плотность теплового потока.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Каковы цели и задачи изучения дисциплины?
2. Что такое термометрия?
3. Дайте определение понятия температуры.
5. Назовите основные теплофизические характеристики пищевых продуктов.
6. Дайте определение понятиям температурного поля, изотермической поверхности и линиям теплового тока.
7. Запишите уравнение теплопроводности Фурье. Объясните физический смысл входящих в него величин.
8. Что такое тепловой поток и плотность теплового потока?
9. Что представляет из себя коэффициент теплопроводности?
10. Что описывает дифференциальное уравнение теплопроводности?

## **Тема 2. Стационарные методы определения теплофизических характеристик твердых материалов**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Определение плотности тепловых потоков.
2. Устройства для определения теплофизических характеристик стационарным методом.
3. Определение теплофизических характеристик сублимированных продуктов.
4. Сравнительный метод определения коэффициента теплопроводности.

*Ключевые понятия:* тепловой поток, метод пластины, метод цилиндрического слоя, метод шарового слоя, определение ТФХ сублимированных продуктов, сравнительный метод определения теплопроводности

*Литература:* [3, 4]

### *Методические рекомендации*

В данной теме необходимо рассмотреть явление стационарного распространения тепла для шаровой поверхности, а также в плоской и цилиндрической стенках, ввести понятие термического сопротивления стенки.

Изучить принципиальные схемы устройств для определения коэффициента теплопроводности стационарными методами пластины, цилиндрического и шарового слоя. Данные стационарные методы широко применяются для определения теплопроводности различных материалов, так как при использовании простых расчетных уравнений обеспечивают получение надежных результатов при заданных температурных условиях.

Рассмотреть схему устройства для определения теплопроводности в вакууме методом пластины, который позволяет определить коэффициенты теплопроводности продуктов как объектов сублимационной сушки.

Особое внимание в данной теме необходимо уделить сравнительному методу определения коэффициента теплопроводности, в котором не требуется измерение теплового потока.

### *Вопросы для самоконтроля*

1. По каким законам распространяется тепловой поток через шаровой слой, плоскую и цилиндрическую стенки?
2. Запишите выражение теплового потока для теплопроводности через шаровой слой, плоскую и цилиндрическую однослойные стенки.

3. Объясните схему прибора для определения коэффициента теплопроводности методом пластины, цилиндра и шара.

4. Объясните схему устройства, применяемого для определения продукта в вакууме.

5. В чем заключается сравнительный метод определения теплопроводности?

### **Тема 3. Датчики теплового потока**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Датчики теплового потока.
2. Прибор для определения коэффициента теплопроводности ИТ-4.

*Ключевые понятия:* датчики теплового потока,  $\lambda$ -прибор

*Литература:* [4]

#### *Методические рекомендации*

Изучить технологию изготовления датчиков теплового потока, их градуирование и определение констант датчиков, а также уделить внимание вторичным приборам в системах измерения тепловых потоков.

Рассмотреть принципиальную схему прибора ИТ-4 для измерения теплопроводности твердых неметаллических материалов на плоских образцах в стационарном режиме методом пластины.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Какие задачи решаются с помощью термометрической аппаратуры?
2. Из чего состоит конструкция слоистого датчика и порядок его изготовления?
3. Какие приборы называют « $\lambda$ -приборами»?
4. Объясните, из чего состоит принципиальная схема прибора ИТ-4.
5. При каких температурах используют прибор ИТ-4?

### **Тема 4. Теплометрическое исследование свойств сублимированных продуктов в вакууме**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Калориметрическое устройство для теплофизических исследований.
2. Характеристика переходных процессов в образце.
3. Комплексное определение теплофизических характеристик стационарным методом.

*Ключевые понятия:* калориметрическое устройство для теплофизических исследований, переходные процессы, комплексное определение ТФХ стационарным методом

*Литература:* [4]

*Методические рекомендации*

В данной теме необходимо рассмотреть схему калориметрического устройства для проведения теплофизических исследований в вакууме.

Изучить примеры результатов измерений тепловых потоков и температур в образцах при экспериментальном определении ТФХ сублимационной сушки. Рассмотреть характеристики переходных процессов в образцах.

В заключении темы рассмотреть комплексной определением теплофизических характеристик стационарным методом.

*Вопросы для самоконтроля*

1. Какие ТФХ позволяет определить калориметрическое устройство с двумя датчиками теплового тока?
2. Объясните схему калориметрического устройства для теплофизических исследований.
3. Что представляет собой комплексное определение теплофизических характеристик стационарным методом?

## **Тема 5. Экспериментальная установка для определения теплофизических характеристик в вакууме**

*Ключевые вопросы темы*

1. Схема экспериментальной установки для определения ТФХ в вакууме

*Ключевые понятия:* схема экспериментальной установки для определения ТФХ в вакууме

*Литература:* [4]

*Методические рекомендации*

В соответствии с рассмотренной в предыдущей теме методикой проведения экспериментов по определению ТФХ пищевых продуктов стационарным методом при давлениях ниже давления тройной точки воды, необходимо рассмотреть схему экспериментальной установки, включающей в себя системы, обеспечивающие создание в рабочей камере необходимого вакуума и его измерение, создание в исследуемом образце определенного

теплового потока с регистрацией его плотности, а также измерение температур или их разности в различных точках образца.

*Вопросы для самоконтроля*

1. Каково назначение элементов экспериментальной установки для определения ТФХ в вакууме?
2. Что является центральным элементом экспериментальной установки для определения ТФХ в вакууме?
3. Объясните схему экспериментальной установки для определения ТФХ в вакууме.

**Тема 6. Нестационарные методы определения теплофизических характеристик**

*Ключевые вопросы темы*

1. Метод источника тепла постоянной мощности ИПМ.
2. Метод регулярного теплового режима.

*Ключевые понятия:* метод ИПМ, метод регулярного теплового режима

*Литература:* [4]

*Методические рекомендации*

В данной теме необходимо рассмотреть особенность нестационарных методов определения ТФХ.

Изучить метод источника тепла постоянной мощности, рассмотреть схему калориметрического устройства ИПМ, а также разобрать примеры построения графиков для опытов по определению теплофизических характеристик сублимированных продуктов в вакууме при различной мощности нагревателя.

В заключении темы рассмотреть метод регулярного теплового режима, который основан на использовании теплообмена между твердым (исследуемым) телом с начальной температурой и окружающей средой с постоянной температурой при известном постоянном коэффициенте теплоотдачи.

*Вопросы для самоконтроля*

1. В чем суть нестационарных методов определения ТФХ?
2. Объясните схему метода источника постоянной мощности.
3. Объясните схему калориметрического устройства ИПМ.
4. Что такое регулярный тепловой режим?

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков определения тепловых потоков для исследования, контроля и регулирования процессов в различных областях пищевой промышленности.

Практические занятия по дисциплине «Теплометрия 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
1	Закон теплопроводности. Уравнение теплопроводности
2	Стационарная теплопроводность
3	Нестационарная теплопроводность

**Практическое задание № 1** Закон теплопроводности. Уравнение теплопроводности

**Цель работы:** формирование умений и навыков по расчету плотности теплового потока.

### **Задание для практической работы**

Решить задачи, используя справочные данные из табл. 1–2 Приложения А.

**Задача 1.1.** Наружная оболочка сферического сосуда Дюара объемом  $V=33,5$  л изготовлена из нержавеющей стали толщиной  $\delta = 10$  мм. Распределение температуры по толщине стенки в данный момент времени

$$T(r) = -506196 + 42826 \cdot r + 515200 \cdot e^{-r},$$

где  $T(r)$  в °С,  $r$  в м. С внешней стороны сосуд обменивается теплом с воздухом, имеющим температуру  $T_e = 40$  °С, а с внутренней стороны излучает в малый безвоздушный зазор.

Определить скорость изменения температуры на обеих поверхностях сосуда, коэффициент теплоотдачи от воздуха к сосуду, плотность потока, излучаемого внутренней поверхностью сосуда.

Теплофизические свойства нержавеющей стали:  $\lambda = 15 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 460 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

**Задача 1.2.** Двумерное распределение температуры в пластине из оргстекла  $M T = 10^7 x^2 + 200 \cdot e^y + 100x \text{ (}^\circ\text{C)}$  ( $x, y$  в м).

Определить плотность теплового потока и угол наклона его вектора к оси абсцисс в начале координат, скорость изменения температуры во времени в начале координат.

**Задача 1.3.** Распределение температуры вблизи основания цилиндра из стали и диаметром  $d = 60 \text{ мм}$ ,  $T = 2 \cdot 10^5 \cdot r^2 + 10^4 z^2 + 60 \text{ }^\circ\text{C}$ , ( $r, z$  в м).

Определить плотность теплового потока и скорость изменения во времени температуры в начале координат, тепловой поток через основание цилиндра.

**Задача 1.4.** Плотности тепловых потоков на поверхностях пластины из алюминия толщиной  $h = 15 \text{ мм}$ , постоянны во времени. Распределение температуры по толщине пластины в данный момент времени  $T = 60 \cdot 2000x + 10^5 x^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , ( $x$  в м).

Определить плотности тепловых потоков на поверхностях пластины, распределение температуры по толщине стенки через  $t = 9 \text{ с}$ , и количество тепла, аккумулированного  $1 \text{ м}^2$  стенки за это время.

**Задача 1.5.** Распределение температуры в пластине из меди толщиной  $L = 15 \text{ мм}$ , описывается уравнением  $T = 200 + 10x^4 + 2 \cdot 10^5 x^2 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $x$  в м).

С одной стороны ( $x = 0$ ) пластина охлаждается хладагентом с температурой  $T_{\text{ж}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ , с другой нагревается газом с температурой  $T_{\text{г}} = 1800 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Определить плотности тепловых потоков и скорости изменения температуры на обеих сторонах пластины, коэффициент теплоотдачи от газа, коэффициент теплоотдачи к хладагенту.

**Задача 1.6.** Распределение температуры по толщине сферы  $T(r) = C_1/r + C_2$ , где  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий. Температура внутренней и наружной поверхностей равна соответственно  $T_{\text{вн}} = 300 \text{ К}$  и  $T_{\text{н}} = 400 \text{ К}$ . Определить плотность теплового потока через поверхности сферы, изготовленной из титана, внутренний и наружный радиусы сферы  $r_{\text{вн}} = 0,02 \text{ м}$ , и  $r_{\text{н}} = 0,04 \text{ м}$ .

**Задача 1.7.** Трубка из латуни с внутренним диаметром  $d = 10 \text{ мм}$ , и наружным диаметром  $D = 16 \text{ мм}$ , омывается газом с температурой  $T_{\text{г}} = 1800 \text{ К}$ . По трубке течет охлаждающая жидкость с температурой  $T_{\text{ж}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ . В данный момент времени распределение температуры по толщине трубки описывается уравнением  $T = 30 + 16^4 r + 10^5 r^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , ( $r$  в м). Определить плотности тепловых

потоков и скорости изменения во времени температур на наружной и внутренней поверхностях трубки, коэффициенты теплопередачи от газа и жидкости.

**Задача 1.8.** Закон скорости изменения температуры по толщине цилиндра в данный момент времени имеет вид  $\partial T/\partial t = f(r)$ , где  $f(r) = a/r$  К/с,  $r$  в м. Внутренний радиус  $r = 1$  м, наружный радиус  $R = 2,718$  м. Поверхности имеют температуру  $T_{\text{вн}} = 300$  К и  $T_{\text{н}} = 320$  К. Определить плотности теплового потока на наружной и внутренней поверхностях цилиндра. Есть ли внутри цилиндра поверхность, на которой плотность теплового потока равна нулю? Каков радиус этой поверхности? Материал цилиндра – бронза.

**Задача 1.9.** Вкладыш сопла из графита представляет собой цилиндр с внутренним диаметром  $d = 25$  мм, наружным диаметром  $D = 40$  мм, и длиной  $L = 40$  мм. Распределение температуры в цилиндре в данный момент времени описывается уравнением  $T = 1200 - 2 \cdot 10^4 r + 100e^r + 10^3 r^2$  °С ( $r$  в м). Определить тепловой поток от продуктов сгорания к внутренней поверхности вкладыша и коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания, имеющих температуру  $T = 3000$  К, а также тепловой поток с наружной поверхности. Найти скорость повышения температуры на поверхностях вкладыша.

**Задача 1.10.** Шар диаметром  $d = 100$  мм, из чугуна нагревается топочными газами с температурой  $T = 1000$  К. Распределение температуры в шаре в данный момент времени описывается уравнением  $T = 8 \cdot 10^6 r^4 + 10^4 r^2 + 80$  °С ( $r$  в м). Определить тепловые потоки и их плотности, скорости изменения во времени температур на наружной поверхности и в центре шара, коэффициент теплоотдачи от газа.

**Задача 1.11.** Сплошной цилиндр из вольфрама диаметром  $d = 60$  мм, нагревается продуктами сгорания, имеющими температуру  $T = 2800$  К. Распределение температуры описывается уравнением  $T = 3 \cdot 10^5 r^2 + 10^7 r^3 e^r$  °С ( $r$  в м). Определить плотности тепловых потоков и скорости изменения во времени температур на поверхности и в центре цилиндра, коэффициент теплоотдачи от газа.

#### **Вопросы для самоподготовки**

1. Что такое плотность теплового потока?
2. Как находится плотность теплового потока пластины?
3. Как найти скорость изменения температуры по времени?
4. Какие характеристики материала необходимо знать, чтобы определить плотность теплового потока?
5. Как найти плотность теплового потока цилиндра?

#### **Практическое задание № 2 Стационарная теплопроводность**

**Цель работы:** формирование умений и навыков по расчету параметров при стационарной теплопроводности

### Задание для практической работы

Решить задачи, используя справочные данные из табл. 1–2 Приложения А

**Задача 2.1.** Определить допустимую силу тока для медного провода диаметром 2 мм, покрытого резиновой изоляцией толщиной 1 мм, при условии, что максимальная температура изоляции не должна превышать 60 °С. Коэффициент теплоотдачи в окружающий воздух 100 Вт/(м<sup>2</sup>·К), температура воздуха 20 °С, теплопроводность меди 0,4 Вт/(м·К), удельное сопротивление меди  $\rho_m = 0,0175 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ .

**Задача 2.2.** Сферический бак из силумина с жидким кислородом диаметром  $D = 0,5 \text{ м}$ , и толщиной стенок  $\delta_1 = 2 \text{ мм}$ , теплоизолирован стекловатой с толщиной слоя  $\delta_2 = 30 \text{ мм}$ . Коэффициент теплоотдачи от окружающего воздуха  $\alpha = 60, \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Определить суточные потери кислорода за счет испарения (кипения). Температура кипения кислорода 183 К, теплота испарения  $2,1\cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$ , теплопроводность материала бака и стекловаты  $\lambda_1$  и  $\lambda_2 = 0,035 \text{ Вт}/\text{мК}$ , соответственно. Температура воздуха  $T = 18 \text{ °С}$ .

**Задача 2.3.** Охлаждающие ребра картера из чугуна имеют толщину  $h = 2 \text{ мм}$ , длину и высоту  $L = 20 \text{ мм}$ . Температура поверхности картера  $T_s = 85 \text{ °С}$ , температура воздуха  $T_c = 20 \text{ °С}$ , коэффициент теплоотдачи в воздух  $\alpha = 150 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Определить плотность теплового потока через основание ребра и сопоставить ее с плотностью теплового потока через неоребренную поверхность.

**Задача 2.4.** Камера из алюминиевого сплава толщиной  $\delta_1 = 2,3 \text{ мм}$ , покрыта теплоизоляцией из двуоксида циркония толщиной  $\delta_2 = 0,5 \text{ мм}$ . Температура продуктов сгорания в камере  $T_1 = 2800 \text{ К}$ , коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания в камере  $\alpha_1 = 2700 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . С наружной стороны камера охлаждается компонентом топлива с температурой  $T_2 = 70 \text{ °С}$ . Каков должен быть коэффициент теплоотдачи к охладителю, чтобы температура камеры не превышала  $T = 350 \text{ °С}$ ?

**Задача 2.5.** Через сопло из меди и с внутренним диаметром  $d = 30 \text{ мм}$ , наружным  $D = 40 \text{ мм}$ , и длиной  $L = 40 \text{ мм}$ , истекают продукты сгорания с температурой  $T_1 = 2900 \text{ К}$ . Коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания  $\alpha_1 = 5400 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . С внешней стороны сопло охлаждается хлоридом аммония, разлагающимся с тепловым эффектом 176 кДж/моль. Каков должен быть секундный расход хлорида аммония, чтобы сопло не оплавлялось (температура плавления материала сопла  $T_2 = 1083 \text{ К}$ )? Какова при таком расходе температура внешней поверхности сопла?

**Задача 2.6.** Сферическое днище камеры сгорания радиусом  $r = 1 \text{ м}$ , покрыто теплозащитным покрытием на основе двуоксида циркония толщиной  $\delta_1 = 2 \text{ мм}$ . Толщина стенки камеры  $\delta_2 = 3 \text{ мм}$ . Коэффициент теплоотдачи от

продуктов сгорания с температурой  $T_1 = 2500$  К, к днищу  $\alpha_1 = 500$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Определить коэффициент теплоотдачи от днища к воздуху с температурой  $T_2 = 20$  °С, и тепловой поток через днище при условии, что температура стенки днища не превышает  $T = 500$  °С.

**Задача 2.7.** По паропроводу внутренним диаметром  $d = 60$  мм, и наружным  $D = 70$  мм, подается пар с температурой  $T_1 = 220$  °С. Тепловые потери паропровода не должны превышать  $Q$ , Вт/м. Определить толщину необходимой для этого теплоизоляции из минеральной шерсти. Коэффициент теплоотдачи от пара  $\alpha_1 = 500$  Вт/(м<sup>2</sup>К), коэффициент теплоотдачи к окружающей среде  $\alpha_2 = 50$  Вт/(м<sup>2</sup>К), температура воздуха  $T_2 = 15$  °С, теплопроводность материала паропровода  $\lambda_1 = 30$  Вт/мК и минеральной шерсти  $\lambda_2 = 0,04$  Вт/мК.

**Задача 2.8.** Камера ЖРД толщиной  $\delta_1 = 2$  мм, омывается продуктами сгорания с температурой  $T_1 = 3000$  К, и охлаждается компонентом топлива с температурой  $T_2 = 70$  °С. Коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания  $\alpha_1 = 2000$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), коэффициент теплоотдачи к охлаждающей жидкости  $\alpha_2 = 500$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Определить температуру на поверхности камеры и плотность теплового потока от продуктов сгорания в камеру, а также эти же величины в том случае, когда стенка камеры покрывается слоем сажи  $\delta_2 = 0,05$  мм. Теплопроводность сажи  $0,06$  Вт/(м<sup>2</sup>К), теплопроводность материала камеры  $\lambda_1 = 40$  Вт/(м<sup>2</sup>К).

**Задача 2.9.** В твердое топливо для увеличения скорости горения заделана проволока из латуни диаметром  $d = 1$  мм, выступающая над поверхностью топлива на  $L = 6$  мм. Температура продуктов сгорания  $T_f = 2400$  К, коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к топливу и проволочке  $\alpha = 1400$  Вт/(м<sup>2</sup>К), теплопроводность материала проволочки  $\lambda = 110$  Вт/(м·К). Определить плотность теплового потока через проволочку у ее основания и сопоставить с плотностью теплового потока в топливо. Температура поверхности топлива  $T_s = 650$  °С.

**Задача 2.10.** Электропровод диаметром  $d = 1,5$  мм, имеет температуру  $T_1 = 70$  °С, и охлаждается потоком воздуха с температурой  $T_2 = 15$  °С. Коэффициент теплоотдачи от поверхности провода к воздуху  $\alpha_1 = 16$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Определить температуру поверхности, которую будет иметь этот провод, если его покрыть изоляцией толщиной  $\delta_2 = 2$  мм, а силу тока в проводе считать неизменной. Теплопроводность изолятора  $\lambda = 0,15$  Вт/(м·К), коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к воздуху  $\alpha_2 = 8,2$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Объясните полученный результат. При какой толщине изоляция начинает препятствовать теплоотводу от провода?

**Задача 2.11.** Через газовод с внутренним диаметром  $d = 50$  мм, и наружным  $D = 60$  мм, пропускаются продукты сгорания с температурой  $T_1 = 2200$  К. Коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к стенкам газовода  $\alpha_1 = 1$

Вт/(м<sup>2</sup>К), коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности газоведа к окружающему воздуху  $\alpha_2 = 250$  Вт/(м<sup>2</sup>К), температура воздуха  $T_2 = 15$  °С. Какой толщины изоляцию нужно нанести на внутреннюю поверхность газоведа, чтобы его температура не превышала  $T_{\text{доп}} = 500$  °С? Теплопроводность материала газоведа  $\lambda_1 = 30$  Вт/(м·К) и теплоизоляции  $\lambda_2 = 0,3$  Вт/(м·К).

### **Вопросы для самоподготовки**

1. Что такое коэффициент теплоотдачи?
2. Как находится коэффициент теплоотдачи?
3. Что такое тепловые потери?
4. Как определить толщину теплоизоляции материала?
5. Какие параметры являются основными при стационарной теплопроводности?

### **Практическое задание № 3 Нестационарная теплопроводность**

**Цель работы:** формирование умений и навыков по расчету параметров при нестационарной теплопроводности

#### **Задание для практической работы**

Решить задачи, используя справочные данные из табл. 1-2 Приложения А

**Задача 3.1.** Проверить, нужно ли наносить теплозащитное покрытие (ТЗП) на стальную камеру двигателя, работающего 5 с. Толщина стенки камеры 2 мм, температура продуктов сгорания 2700 К, коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к камере 2500 Вт/(м<sup>2</sup>К). Теплообменом с наружной стороны камеры можно пренебречь. Допустимая температура на внутренней поверхности камеры 500 °С. Если покрытие необходимо, то оценить требуемую толщину кремнийорганического покрытия.

**Задача 3.2.** Для того чтобы нетеплоизолированная камера из стали за время,  $t = 6$  с, не нагревалась выше  $[T] = 500$  °С, ее толщина должна быть  $\delta_m = 6$  мм. На сколько можно уменьшить толщину камеры, нанеся на ее поверхность  $\delta = 2$  мм слой стеклотекстолита? Температура продуктов сгорания  $T_r = 2500$  К начальная температура камеры 20 °С.

**Задача 3.3.** Определите, через какое время после начала работы двигателя начнет оплавляться диафрагма (решетка), изготовленная из стального прутка диаметром  $d = 8$  мм. Температура продуктов сгорания  $T_r = 2300$  К, коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к диафрагме  $\alpha = 2500$  Вт/(м<sup>2</sup>К), начальная температура диафрагмы 15°С.

**Задача 3.4.** Газовый руль из вольфрама толщиной  $\delta = 10$  мм, нагревается продуктами сгорания с температурой  $T_r = 3000$  К, коэффициент от продуктов

сгорания к поверхности руля  $\alpha = 4000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ . Какова разница между температурой поверхности и температурой в середине руля через  $t = 3 \text{ с}$ , после начала работы двигателя? Начальная температура руля  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Задача 3.5.** Длинный цилиндр из чугуна диаметром  $d = 50 \text{ мм}$  имеет первоначально постоянную температуру  $T_0 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Цилиндр охлаждается воздухом с температурой  $T_{\text{в}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  при коэффициенте теплоотдачи  $\alpha = 200 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ . Найти температуру на поверхности и температуру на оси цилиндра после его охлаждения в течение  $t = 100 \text{ с}$ . Рассчитать общее количество тепла, отданное единицей длины цилиндра за это время.

**Задача 3.6.** Оценить количество тепла, переданное за время  $t = 1 \text{ с}$  продуктами сгорания с температурой  $T_{\text{г}} = 2700 \text{ К}$  стенкам цилиндрической камеры из стали. Диаметр камеры  $D = 70 \text{ мм}$ , длина  $L = 400 \text{ мм}$ , толщина стенки  $\delta = 3 \text{ мм}$ . Стенку можно считать плоской. Коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к камере  $\alpha = 2500 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , начальная температура камеры  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Задача 3.7.** Через какое время может воспламениться топливо под слоем бронировки толщиной  $\delta = 2 \text{ мм}$ , если поверхность бронировки омывается газом с температурой  $T_{\text{г}} = 2200 \text{ К}$  и коэффициент теплоотдачи от газа к поверхности  $\alpha = 2300 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ? Температура воспламенения топлива  $T_{\text{в}} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ , начальная температура  $T_0 = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Теплофизические характеристики топлива и бронировки одинаковые:  $\rho = 1600 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $\lambda = 0,3 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $c = 1300 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . Вследствие низкой теплопроводности толщина прогретого слоя мала по сравнению с размерами топлива, так что поверхность бронировки можно считать поверхностью полуограниченного массива.

**Задача 3.8.** Камера из стали толщиной  $\delta = 3 \text{ мм}$  имеет теплозащитное покрытие из кремнийорганического материала толщиной  $\delta = 1 \text{ мм}$ . Сколько времени такая камера может выдерживать воздействие продуктов сгорания, имеющих температуру  $T_{\text{г}} = 2800 \text{ К}$ , если допустимая температура для стали  $[T] = 580 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 1700 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , начальная температура  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Задача 3.9.** Какой толщины должна быть стенка из молибдена, чтобы за  $t = 5 \text{ с}$ , воздействия газового потока с температурой  $T_{\text{г}} = 3000 \text{ К}$  этот материал не начал оплавляться? Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке  $\alpha = 3000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , начальная температура стенки  $T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Задача 3.10.** Двигатель, работающий  $t = 5 \text{ с}$ , снабжен соплом с молибденовым вкладышем толщиной  $\delta = 5 \text{ мм}$ . Вкладыш установлен на теплоизоляторе. Какова допустимая температура продуктов сгорания, позволяющая сохранить размеры сопла? Коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к соплу  $\alpha = 5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ . Стенку вкладыша можно считать плоской. Начальная температура  $T_0 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Задача 3.11.** Длинный цилиндр диаметром  $d = 50$  мм из чугуна, имевший температуру  $T_0 = 600$  °С, перенесен в холодное помещение с температурой  $T_c = 5$  °С. За какое время температура в центре цилиндра снизится до  $T = 100$  °С? Коэффициент теплоотдачи от цилиндра к окружающему воздуху  $\alpha = 20$  Вт/(м<sup>2</sup>К).

**Вопросы для самоподготовки**

1. Как найти температуру на поверхности и температуру на оси цилиндра?
2. Дайте определение явления нестационарной теплопроводности.
3. Назовите две группы процессов, которые имеют важнейшее значение среди практических задач нестационарной теплопроводности.
4. При каких технологических процессах нагревания (охлаждения) имеют место процессы нестационарной теплопроводности?
5. Какие параметры являются основными при стационарной теплопроводности?

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

Согласно учебному плану дисциплины «Теплометрия 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.

Все студенты выбирают варианты контрольной работы в зависимости от номера зачетной книжки. Номер варианта соответствует последним двум цифрам личного шифра. Например, если номер шифра 121, 105 или 180, то номера вариантов соответственно будут 21, 05, 80. Предпоследняя цифра – вертикаль, последняя – горизонталь.

Номера заданий определяют по таблице 3.

Задание по контрольной работе предусматривает ответ на три вопроса, в соответствии с вариантом.

Ответ на теоретический вопрос должен быть исчерпывающим и четким, написанным своими словами. Копировать текст дословно не допускается.

#### **Правила оформления контрольной работы**

##### *1 Общие требования*

1.1 Контрольные работы являются текстовыми документами и должны соответствовать ГОСТ Р 2.105-2019.

1.2 Работа должна быть отпечатана при помощи средств компьютерной техники на одной стороне листа белой бумаги формата А4 и аккуратно подшита (сброшюрована) в папку. Объем работы - 10-15 стр.

1.3 Выполняется гарнитурой Times New Roman с соблюдением следующих требований:

поля: левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее и нижнее – 20 мм; ориентация книжная;

размер шрифта 14 пт;

междустрочный интервал – полуторный; абзацный отступ – 1,25;

выравнивание текста – по ширине.

Текст работы должен быть написан в строгом соответствии с правилами русской орфографии, синтаксиса и пунктуации.

1.4 Опечатки и описки, обнаруженные в тексте, допускается исправлять аккуратной подчисткой или закрашиванием штрихом и нанесением на том же месте исправленного текста машинописным или рукописным способом.

## *2 Нумерация страниц*

2.1 Все страницы работы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту отчета, включая приложения. Номер страницы проставляется в центре нижней части страницы без точки.

2.2 Титульный лист включают в общую нумерацию страниц отчета. Номер страницы на титульном листе не проставляют.

2.3 Иллюстрации и таблицы, расположенные на отдельных листах, включают в общую нумерацию.

## *3 Содержание и рубрикация*

3.1 Наименования структурных элементов работы «СОДЕРЖАНИЕ», «ВВЕДЕНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ», «ПРИЛОЖЕНИЕ» служат заголовками структурных элементов документа.

Заголовки структурных элементов работы следует располагать в середине строки без точки в конце прописными буквами, не подчеркивая. Начертание полужирное.

3.2 Основную часть работы следует делить на разделы, подразделы и пункты. Пункты при необходимости могут делиться на подпункты. Разделы и подразделы работы должны иметь заголовки. Пункты и подпункты, как правило, заголовков не имеют.

3.3 Заголовки разделов и подразделов основной части работы следует начинать с абзацного отступа и размещать после порядкового номера, печатать с прописной буквы, полужирным шрифтом, не подчеркивать, без точки в конце.

3.4 Если заголовок включает несколько предложений, их разделяют точками. Переносы слов в заголовках не допускаются.

3.5 Каждый структурный элемент и каждый раздел основной части работы начинают с новой страницы.

## *4 Нумерация разделов, подразделов, пунктов, подпунктов*

4.1 Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего отчета, обозначенные арабскими цифрами без точки и расположенные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов.

4.2 Если работа имеет подразделы, то нумерация пунктов должна быть в пределах подраздела и номер пункта должен состоять из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками.

4.3 Внутри пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления. Перед каждым элементом перечисления следует ставить тире. При

необходимости ссылки в тексте работы на один из элементов перечисления вместо тире ставят строчные буквы русского алфавита со скобкой, начиная с буквы «а» (за исключением букв ё, з, й, о, ч. ь, ы, ь). Простые перечисления отделяются запятой, сложные — точкой с запятой.

При наличии конкретного числа перечислений допускается перед каждым элементом перечисления ставить арабские цифры, после которых ставится скобка.

Перечисления приводятся с абзацного отступа в столбик.

## *5 Оформление иллюстраций*

5.1 Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, где они упоминаются впервые, или на следующей странице (по возможности ближе к соответствующим частям текста). На все иллюстрации в работе должны быть даны ссылки. При ссылке необходимо писать слово «рисунок» и его номер, например: «в соответствии с рисунком 2» и т. д.

5.2 Иллюстрации, за исключением иллюстраций, приведенных в приложениях, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается: Рисунок 1.

5.3 Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения.

5.4 Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой: Рисунок 2.1.

5.5 Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок», его номер и через тире наименование помещают после пояснительных данных и располагают в центре под рисунком без точки в конце.

5.6 Если наименование рисунка состоит из нескольких строк, то его следует записывать через один межстрочный интервал. Наименование рисунка приводят с прописной буквы без точки в конце. Перенос слов в наименовании графического материала не допускается.

## *6 Оформление таблиц*

6.1 Цифровой материал должен оформляться в виде таблиц. Таблицы применяют для наглядности и удобства сравнения показателей.

6.2 Таблицу следует располагать непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

На все таблицы в отчете должны быть ссылки. При ссылке следует печатать слово «таблица» с указанием ее номера.

6.3 Наименование таблицы, при ее наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Наименование следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в следующем формате:

Таблица Номер таблицы — Наименование таблицы. Наименование таблицы приводят с прописной буквы без точки в конце.

Если наименование таблицы занимает две строки и более, то его следует записывать через один межстрочный интервал.

6.4 Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Таблицы каждого приложения обозначаются отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в отчете одна таблица, она должна быть обозначена «Таблица 1» или «Таблица А.1» (если она приведена в приложении А).

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела при большом объеме работы. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой: Таблица 2.3.

6.5 Заголовки граф и строк таблицы следует печатать с прописной буквы, а подзаголовки граф — со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Названия заголовков и подзаголовков таблиц указывают в единственном числе.

## *7 Список использованных источников*

7.1 Список должен содержать сведения об источниках, использованных при написании работы. Сведения об источниках приводятся в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.100-2018.

7.2 Список использованных источников должен включать библиографические записи на документы, использованные при написании работы, ссылки на которые оформляют арабскими цифрами в квадратных скобках. Сведения об источниках следует располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте работы, нумеровать арабскими цифрами с точкой и печатать с абзацного отступа.

## *8 Оформление приложений*

8.1 Материал, дополняющий текст документа, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого формата, расчёты, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ и т.д.

Приложения оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

8.2 Приложения могут быть обязательными и информационными.

Информационные приложения могут быть рекомендуемого или справочного характера.

8.3 В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Степень обязательности приложений при ссылках не указывается. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа, за исключением информационного приложения «Библиография», которое располагают последним.

8.4 Приложения обозначают прописными буквами кириллического алфавита, начиная с А, за исключением букв Е, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. После слова «ПРИЛОЖЕНИЕ» следует буква, обозначающая его последовательность. Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O. Если в документе одно приложение, оно обозначается «ПРИЛОЖЕНИЕ А».

8.5 Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «ПРИЛОЖЕНИЕ» и его обозначения, а под ним в скобках для обязательного приложения пишут слово «обязательное», а для информационного – «рекомендуемое» или «справочное».

Приложение должно иметь заголовок, который записывают с прописной буквы, полужирным шрифтом, отдельной строкой по центру без точки в конце.

8.6 Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделён на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

8.7 Все приложения должны быть перечислены в содержании документа с указанием их номеров и заголовков.

## *9 Оформление содержания*

Каждую запись содержания оформляют как отдельный абзац, выровненный влево. Номера страниц указывают выровненными по правому краю поля и соединяют с наименованием структурного элемента или раздела отчета посредством отточия.

### **Требования к структуре контрольной работы**

Контрольная работа должна содержать:

- Титульный лист установленного образца (Приложение А);
- СОДЕРЖАНИЕ;
- Теоретическое задание;
- СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ;
- ПРИЛОЖЕНИЯ (при наличии).

Перед каждым ответом следует писать номер вопроса и его полную формулировку.

Список использованных в работе источников должен содержать не менее пяти источников, подтвержденных соответствующими ссылками.

## **ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

1. Теплофизические свойства пищевых продуктов.
2. Методы измерения тепловых потоков в процессах с кондуктивно-конвективной передачей энергии.
3. Измерение теплоты фазовых превращений.
4. Измерение теплоты нагрева и охлаждения жидкости.
5. Электрокалориметрия.
6. Градиентные методы.
7. Метод вспомогательной стенки.
8. Метод аналогий.
9. Методы измерения тепловых потоков в радиационно-конвективных процессах.
10. Определение теплофизических характеристик сублимированных продуктов.
11. Универсальная аппаратура для теплотрии пищевой промышленности.
12. Тепломеры для исследования процессов высокой интенсивности.
13. Тепломеры для исследования процессов малой и средней интенсивности.
14. Градуировка тепломеров.
15. Искажение рабочих процессов при внесении тепломера.
16. Особенности теплотрии нестационарных процессов.
17. Теплотрическое определение теплофизических характеристик.
18. Проницаемость и эффективная поглощательная способность.
19. Теплопроводность.
20. Комплексное определение теплофизических характеристик.
21. Приборы для определения тепловых эффектов.
22. Теплотрия в хлебопекарной и кондитерской промышленности.
23. Теплотрия обработки сыпучих материалов.
24. Тепловые потоки к механически перемешиваемому слою.
25. Теплотрия в мясной и молочной промышленности.
26. Теплотрия холодильного оборудования.
27. Минимизация тепловых потоков в изоляционном ограждении.

28. Измерение тепловых потоков через изоляцию промышленных холодильников.

29. Распределение теплопритоков в холодильных шкафах.

30. Теплотрическое определение теплофизических характеристик изоляционных ограждений.

Таблица 3 – Распределение заданий по вариантам

		Последняя цифра шифра									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предпоследняя цифра шифра	0	1, 12, 23	2, 13, 24	3, 14, 25	4, 15, 26	5, 16, 27	6, 17, 28	7, 18, 29	8, 19, 30	9, 20, 23	10, 21, 25
	1	11, 22, 30	10, 12, 24	9, 15, 29	8, 16, 30	7, 15, 26	6, 13, 23	5, 21, 27	4, 14, 23	3, 12, 28	2, 18, 25
	2	10, 13, 27	9, 15, 28	8, 14, 25	7, 21, 30	6, 13, 24	5, 20, 30	4, 18, 28	3, 17, 27	2, 19, 28	1, 16, 30
	3	5, 14, 25	4, 19, 25	6, 14, 24	1, 20, 23	2, 18, 30	3, 15, 29	4, 16, 26	5, 17, 26	6, 16, 28	7, 17, 26
	4	3, 21, 24	2, 20, 29	5, 18, 25	8, 22, 24	9, 19, 26	7, 12, 23	1, 17, 24	2, 18, 30	7, 22, 28	6, 17, 29
	5	8, 12, 23	9, 13, 26	10, 21, 23	11, 16, 24	5, 20, 30	6, 14, 29	7, 16, 26	1, 14, 28	2, 15, 30	3, 17, 23
	6	4, 12, 30	8, 12, 27	9, 20, 28	10, 19, 25	8, 15, 23	7, 21, 23	6, 21, 27	5, 21, 26	4, 22, 29	5, 22, 30
	7	7, 14, 24	11, 20, 26	1, 17, 30	2, 13, 23	3, 12, 25	4, 18, 27	5, 13, 30	6, 15, 27	7, 14, 29	8, 22, 30
	8	2, 19, 23	3, 22, 25	4, 13, 23	5, 18, 30	6, 13, 29	7, 17, 27	8, 22, 28	9, 22, 29	10, 19, 27	11, 21, 30
	9	10, 20, 24	9, 12, 25	8, 19, 26	7, 18, 30	6, 20, 29	5, 16, 30	4, 19, 24	3, 16, 23	2, 14, 27	1, 15, 28

## КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Проверка и рецензирование контрольной работы осуществляется преподавателем в течение 7 дней со дня ее поступления на проверку. По результатам выполнения контрольной работы выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

Отметка «не зачтено» выставляется, если:

- работа полностью или частично не соответствует варианту задания;
- работа выполнена не в полном объеме;
- теоретический вопрос раскрыт очень слабо, приведены лишь общие положения, материал изложен непоследовательно, бессистемно, нет обобщающих выводов, не сделаны ссылки на используемую литературу;
- перечень использованной литературы содержит менее пяти источников;
- оформление работы не соответствует требованиям.

Не зачтенная контрольная работа возвращается обучающемуся на доработку. В работе над ошибками ответы необходимо исправить точно в соответствии с замечаниями преподавателя, перечисленными в рецензии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гинзбург, А. С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: справочник / А. С. Гинзбург, М. А. Громов, Г. И. Красовская. – 3-е изд., доп. и перераб. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 286 с.
2. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Изд. 13-е, стер., перепеч. с изд. 1987 г. – Москва: Альянс, 2006. – 575 с.
3. Попов, В. В. Динамика тепловых процессов при нагревании и охлаждении тел правильной формы: учеб. пособие для студ. спец. 170600 "Машины и аппараты пищевых производств" / В. В. Попов. – Калининград: КГТУ, 1996. – 42 с.
4. Попов, В. В. Теплометрия в пищевой промышленности: учеб. пособие для студ. спец. 260601.65 – Машины и аппараты пищ. пр-в; 260602.65 – Пищ. инженерия малых предприятий / В. В. Попов. – Калининград: КГТУ, 2006. – 41 с.
5. Попов, В. В. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: справ. пособие по курс. и дип. проект. для студ. вузов спец. 170600 - Машины и аппараты пищ. пр-в, 271300 - Пищ. инженерия мал. предприятий, 271100 - Технология продуктов питания, 210200 - Автоматизация техн. процессов и пр-в, 330500 - Безопасность техн. процессов и пр-в / В. В. Попов, Ю. А. Фатыхов, Н. В. Захаркив. – Калининград: КГТУ, 2004. – 73 с.
6. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен: учебник для вузов / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2011. – 558 с.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**

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

Институт агроинженерии и пищевых систем  
Кафедра инжиниринга технологического оборудования

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

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

Контрольная работа № \_\_\_\_

по дисциплине  
«ТЕПЛОМЕТРИЯ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

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

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

Локальный электронный методический материал

Мария Вячеславовна Хомякова

## ТЕПЛОМЕТРИЯ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 2,4. Печ. л. 2,0

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