

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная
академия имени Н.В. Верещагина»

Технологический факультет

Кафедра технологического оборудования

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕПЛОВЫЕ И МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Направление подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование

Профиль подготовки Машины и аппараты пищевых производств

Квалификация (степень) выпускника: магистр

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование.

Разработчик, д.т.н., проф. Гнездилова А.И.

Программа одобрена на заседании кафедры технологического оборудования от 20.02.25, протокол № 6.

Зав. кафедрой, к.т.н., доцент Кузин А.А.

Рабочая программа дисциплины согласована на заседании методической комиссии технологического факультета от 20.02.25, протокол № 6.

Председатель методической комиссии, к.т.н., доцент Бурмагина Т.Ю.

1 Цель и задачи учебной дисциплины

Цель - сформировать у студентов знания тепловых и массообменных процессов пищевых производств и аппаратов для их осуществления с учетом технических и экологических аспектов, а также практическую подготовку к решению конкретных производственных задач.

Задачи курса:

- формирование знаний об основных тепловых и массообменных процессах, протекающих в различных производствах;
- формирование навыков по использованию современных методов исследования тепловых и массообменных процессов;
- развитие навыков выбора оптимальных конструкций аппаратов в конкретных производствах;
- ознакомление с научными достижениями и современными тенденциями развития и использования новых физических методов обработки пищевых продуктов.

2 Место учебной дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Тепловые и массообменные процессы» относится к обязательной части дисциплин федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование, профиль Машины и аппараты пищевых производств. Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.О.04 .

Освоение дисциплины «Тепловые и массообменные процессы» базируется на знаниях и умениях, полученных студентами при изучении таких дисциплин бакалавриата: «Математика» -Б1.Б.06, «Физика» - Б1.Б.08, «Механика» -Б1.Б.20

Дисциплина «Тепловые и массообменные процессы» является базовой для последующего изучения дисциплин: «Инновационные направления развития техники пищевых производств» - Б1.В.02, а также является базой для эффективного прохождения практик: технологической практики –Б2.О.03(П), преддипломной практики –Б2.О.04(Пд), научно-исследовательской работы - Б2.О.02(У).

Области профессиональной деятельности и сферы профессиональной деятельности, в которых выпускники, освоившие программу магистратуры, могут осуществлять профессиональную деятельность:

01 Образование и наука (в сферах: реализации образовательных программ среднего профессионального образования, высшего образования, дополнительных профессиональных программ; научно-исследовательских и проектно-конструкторских разработок);

40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сферах: технологического обеспечения заготовительного производства на машиностроительных предприятиях; технологической подготовки производства деталей машиностроения; проектирования машиностроительных производств, их основного и вспомогательного оборудования, инструментальной техники, технологической оснастки; проектирования транспортных систем машиностроительных производств; разработки нормативно-технической и плановой документации, системы стандартизации и сертификации; разработки средств и методов испытаний и контроля качества машиностроительной продукции);

22 Пищевая промышленность, включая производство напитков и табака (в сферах: технологического обеспечения заготовительного производства на перерабатывающих предприятиях; проектирования пищевых и перерабатывающих производств, их основного и вспомогательного оборудования, инструментальной техники, технологической оснастки; проектирования транспортных систем пищевых и

перерабатывающих производств; разработки нормативно-технической и плановой документации, системы стандартизации и сертификации; разработки средств и методов испытаний и контроля качества продукции). В рамках освоения образовательной программы выпускники могут готовиться к решению задач профессиональной деятельности следующих типов: – производственно-технологический; – научно-исследовательский.

Объекты профессиональной деятельности выпускников: машины и оборудование различных комплексов и машиностроительных производств, технологическое оборудование; вакуумные и компрессорные машины, гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика; технологическая оснастка и средства механизации и автоматизации технологических процессов машиностроения; производственные технологические процессы, их разработка и освоение новых технологий; средства информационного, метрологического, диагностического и управленческого обеспечения технологических систем для достижения качества выпускаемых изделий; нормативно-техническая документация, системы стандартизации и сертификации, методы и средства испытаний и контроля качества изделий машиностроения.

3 Требования и результаты освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирования следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-9. Способен разрабатывать новое технологическое оборудование	<p>ИД-1_{ОПК-9} Знает содержание технологических процессов.</p> <p>ИД-2_{ОПК-9} Умеет использовать знания технологических процессов при решении профессиональных задач.</p> <p>ИД-3_{ОПК-9} Владеет способностью разрабатывать новое технологическое оборудование</p>
ПК-4.Способен разрабатывать методические и нормативные материалы, а также предложения и мероприятия по осуществлению разработанных проектов и программ	<p>ИД-1_{ПК-4} Знает содержание современных методических и нормативных материалов в области разработки и использования машин и оборудования;</p> <p>ИД-2_{ПК-4} Умеет разрабатывать методические и нормативные материалы составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов</p> <p>ИД-3_{ПК-4} Владеет способностью по осуществлению разработанных проектов и программ</p>

4 Структура и содержание учебной дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц – 252 час.

4.1 Структура учебной дисциплины

Вид учебной работы	Всего часов	2	3
		семестр	семестр
Аудиторные занятия (всего)	86	42	44
<i>В том числе:</i>			
Лекции (Л)	20	10	10
Практические занятия (ПЗ)	33	16	17
Лабораторные работы (ЛР)	33	16	17
Самостоятельная работа	157	66	91
<i>В том числе:</i>			
Подготовка к лабораторным работам и практическим занятиям			
Курсовой проект			
Подготовка к итоговому контролю			
Контроль	9	-	9
Вид итоговой аттестации	зачет, экзамен	зачет	экзамен
Общая трудоёмкость, часы	252	108	144
Зачётные единицы	7	3	4

4.2 Содержание разделов учебной дисциплины

Раздел 1. Тепловые процессы. Общая характеристика тепловых процессов, их роль в пищевой промышленности. Балансы энергии для теплообменных процессов. Способы передачи тепла и их характеристика. Механизм переноса тепла теплопроводностью, конвекцией, излучением.

Тепловое подобие. Критерии теплового подобия. Их применение в практических расчетах. Основное уравнение теплопередачи. Применение основного уравнения теплопередачи для расчета теплообменной аппаратуры. Конструкция основных видов теплообменной аппаратуры, применяемой в пищевой промышленности. Характеристика основных теплоносителей, их сравнительная оценка. Конденсация. Физические основы процесса. Классификация конденсаторов, их устройство, расчет.

Выпаривание. Назначение и применение в пищевой промышленности. Теоретические основы выпаривания. Типы выпаренных аппаратов. Вакуум-выпарные аппараты с естественной и принудительной циркуляцией. Выпаривание в тонкой пленке. Материальный и тепловой баланс. Температурные потери, их виды и определение. Расчет поверхности нагрева. Сущность многократного выпаривания. Определение оптимального числа корпусов. Выпарной аппарат с тепловым насосом. Пути интенсификации выпарных аппаратов.

Раздел 2. Массообменные процессы.

Общие сведения о массообменных процессах. Механизмы переноса массы. Молекулярная и конвективная диффузия. Теория пограничных слоев. Дифференциальные уравнения молекулярной и конвективной диффузии. Подобие тепловых и массообменных процессов. Аналогии процессов переноса тепла и массы. Массопередача. Движущая сила процесса.

Сушка. Физические основы процесса. Характеристика влажных материалов. Форма связи влаги с материалом. Параметры влажного воздуха и определение их с помощью i -х диаграммы. Изображение процессов нагрева, охлаждения, смешения и сушки на i -х диаграмме. Материальный и тепловой балансы сушки. Основные расчеты сушильных

установок. Движение влаги в материале. Сорбция и десорбция влаги. Равновесие при сушке, движущая сила процесса. Кинетика сушки. Кривые сушки и скорости сушки. Особенности сушки различных материалов. Способы сушки. Основные типы сушильных установок. Технично-экономическая оценка сушилок и области их применения.

Кристаллизация и растворение. Назначение и сущность процессов. Материальный и тепловой балансы. Аппараты для кристаллизации и растворения, их конструкция и расчет. Ректификация. Сущность процесса. Основные законы. Аппараты для осуществления процессов и их расчет. Экстракция. Сущность процесса. Экстракция из жидких и твердых тел. Массопередача при экстракции. Конструкция и расчет экстракторов.

4.3 Разделы учебной дисциплины и вид занятий

№ п/п	Наименование разделов учебной дисциплины	Л	ЛЗ	ПЗ	СРС	Контроль	Всего
1	Тепловые процессы	12	18	18	97	5	150
5	Массообменные процессы	8	15	15	60	4	102
	Всего	20	33	33	157	9	252

4.4 Лабораторный практикум

№ п/п	Тема лабораторного практикума	Трудоемкость, час.
1	Исследование закономерностей переноса тепла в пластинчатом теплообменнике.	8
2	Изучение процессов нагревания и рекуперации теплоты (виртуальная работа)	8
3	Исследование работы двухкорпусной выпарной установки (виртуальная работа)	8
4	Исследование процесса распылительной сушки (виртуальная работа)	9
Всего		33

5. Матрица компетенций

№ п/п	Наименование разделов учебной дисциплины	ОПК-9	ПК 4	Общее число компетенций
1	Тепловые процессы	+	+	2
2	Массообменные процессы	+	+	2

6 Образовательные технологии

Объем часов всего 252 часов, в т.ч. лекции 20 часов, лабораторные работы 33 часа, практические занятия – 33 часов.

Образовательные технологии, используемые при изучении дисциплины: традиционные технологии (лекции, лабораторные и практические занятия, написание контрольных работ); интерактивные (представлены в таблице). Объем занятий в интерактивной форме составляет 30% от аудиторных занятий.

Таблица - Активные и интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

Семестр	Вид занятия (Л, ЛР, ПЗ)	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество часов
2	Л	Проблемная лекция на тему: «Теоретические основы процесса кристаллизации лактозы и аппараты для ее осуществления»	2
1	Л	Лекция визуализация на тему: «Конструкции теплообменных аппаратов и их сравнительная оценка»	2
2	Л	Лекция визуализация на тему: «Конструкции сушильных аппаратов и их сравнительная оценка»	2
2	ПЗ	Групповая работа на тему «Сравнительная оценка различных способов концентрирования»	4
2	ПЗ	Групповая работа на тему «Анализ факторов, влияющих на температуру кипения в вакуум-выпарном аппарате»	4
1	ПЗ	Анализ конкретных ситуаций (case-study) типа ситуация-проблема на тему «Трудности определения коэффициента теплоотдачи из основного уравнения теплоотдачи»	4
1	ПЗ	Анализ конкретных ситуаций (case-study) типа ситуация - оценка на тему «Обоснование оптимальной скорости движения теплоносителя в закрытых каналах теплообменных аппаратов»	4
2	ЛР	Деловая игра на тему «Организация и проведение процессов сгущения и сушки на молочном предприятии»	4
Итого:			26

7. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.1 Виды самостоятельной работы, порядок их выполнения и контроля

№	Раздел	Виды СРС	Порядок выполнения СРС	Метод
---	--------	----------	------------------------	-------

п/п	дисциплины			контроля	
1	Тепловые процессы	Подготовка практическим лабораторным занятиям, контрольной работе тестированию	к и к и	Работа с лекционным материалом, основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами	Устный опрос, письменный контроль, тестирование, проведение деловой игры, курсовое проектирование
2	Массообменные процессы	Подготовка практическим лабораторным занятиям, контрольной работе тестированию	к и к и	Работа с лекционным материалом, основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами	Устный опрос, письменный контроль, тестирование, проведение деловой игры

7.2 Содержание и объем самостоятельной работы студента

Разделы рабочей программы для самостоятельного изучения	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, часов
Раздел 1. Тепловые процессы	<p>Основные законы теплопередачи</p> <p>1. Каковы механизмы переноса тепла? Какой механизм переноса тепла характерен для твёрдых тел?</p> <p>2. Какой закон описывает процесс? Какой физический смысл имеет коэффициент теплопроводности?</p> <p>3. Из какого уравнения может быть получен закон описывающий теплопроводность плоской стенки при установившемся тепловом режиме?</p> <p>4. В чём заключается сущность переноса тепла конвекцией?</p> <p>5. Какова структура теплового пограничного слоя и его связь с гидродинамическим пограничным слоем?</p> <p>6. Какое уравнение описывает процесс теплоотдачи? Каков физический смысл коэффициента теплоотдачи?</p> <p>7. Из каких уравнений и каким методом может быть получены критерии теплового подобия?</p> <p>8. Какие критерии теплового подобия используются в расчёте теплообменных аппаратов? Чем определяется конкретный вид критериальных уравнений?</p> <p>9. В чём заключается сущность переноса тепла излучением? Какое уравнение описывает лучистый обмен между двумя плоскими параллельно расположенными телами?</p> <p>10. Какой процесс называют теплопередачей и каким законом он описывается? Каков физический смысл коэффициента теплопередачи?</p>	66

	<p>11 Какая связь существует между коэффициентами теплопередачи и теплоотдачи?</p> <p>12 Почему в расчётах тепловых процессов используется средний температурный напор и как и он вычисляется?</p> <p>13 Какие схемы движения теплоносителей существуют? Какие требования предъявляют к теплоносителям и хладоносителям?</p> <p>14 Какие конструкции теплообменных аппаратов применяются в пищевой промышленности?</p> <p>15 Какие теплообменники по принципу действия относятся к смешительным и какие к поверхностным? Какие достоинства и недостатки имеют кожухотрубные теплообменники?</p> <p>16 В каких случаях применяют теплообменники типа “труба в трубе”?</p> <p>17 Как устроен спиральный теплообменник? Каковы особенности теплопередачи в пластинчатом теплообменнике?</p> <p>18 Чем различаются конструктивный и поверочный расчёты теплообменников?</p> <p>19 Какие способы интенсификации процесса теплопередачи возможны в теплообменных аппаратах?</p> <p>Нагрев и охлаждение</p> <p>20 Какие методы нагрева и охлаждения применяют в пищевой промышленности?</p> <p>21 Из какого уравнения определяют расходы теплоносителя или хладоносителя?</p> <p>Конденсация</p> <p>22 Какова физическая сущность процесса?</p> <p>23 Из какого уравнения определяют расход воды на конденсацию паров?</p> <p>24 Как устроен и работает поверхностный конденсатор?</p> <p>25 Почему в промышленных технологических аппаратах теплопередача от пара к стенке осуществляется, как правило, в условиях плёночной конденсации?</p> <p>26 Как рассчитывается коэффициент теплоотдачи при плёночной конденсации насыщенного пара?</p> <p>27 Какие критерии теплового подобия описывают этот процесс?</p> <p>28 Как устроен и работает барометрический конденсатор?</p> <p>29 От каких параметров зависит высота барометрической трубы?</p> <p>Выпаривание</p> <p>30 Каковы назначение и сущности процесса?</p> <p>31 Какие способы выпаривания существуют? Когда следует применять выпаривание под разрежением и как создаётся вакуум?</p> <p>32 Какие типы выпарных аппаратов существуют? Каково назначение калоризатора, сепаратора, конденсатора?</p> <p>33 Что является движущей силой естественной циркуляции и как конструктивно обеспечивается циркуляционный контур?</p> <p>34 Из каких уравнений определяется масса выпарной влаги и расход греющего пара? Составить уравнения.</p> <p>35 Как рассчитываются: температура кипения, полная и полезная разности температур?</p> <p>36 Какие депрессии имеют можно при выпаривании и как</p>	
--	--	--

	<p>они рассчитываются?</p> <p>37 В чём принцип многократного выпаривания и с какой целью его осуществляют?</p> <p>38 Как определяется оптимальное число корпусов многокорпусной выпарной установки?</p> <p>39 Какие способы экономии тепла при выпаривании существуют?</p> <p>40 Каково назначение и устройство инжектора (теплового насоса)?</p> <p>41 Из каких уравнений определяется масса остывшего пара, прошедшего на термокомпрессию?</p> <p>42 Как изменяется давление и скорость в сопле Лавала, камере смешения, камере сжатия?</p> <p>43 Как рассчитывается коэффициент инжекции и КПД инжектора и какова между ними связь?</p>	
<p>Раздел 2. Массообменные процессы</p>	<p>Основные законы массопередачи</p> <p>1 Каковы механизмы переноса массы и в чём заключается их сущность?</p> <p>2 Каким уравнением описывается перенос массы молекулярной диффузией? Каков физический смысл коэффициента молекулярной диффузии?</p> <p>3 Какой закон, являясь аналогом закона Ньютона-Рихмана, описывает перенос вещества из потока к поверхности раздела фаз?</p> <p>4 Какова структура потока? В чём аналогия переноса тепла и массы?</p> <p>5 Какие критерии характеризуют подобие массообменных процессов?</p> <p>6 Чем определяется конкретный вид критериальных уравнений?</p> <p>7 Из каких уравнений рассчитываются массовые расходы и строится рабочая линия массообменных процессов?</p> <p>8 Как определяется движущая сила массообменных процессов?</p> <p>Сушка</p> <p>9 В чём сущность процесса? Какова роль воздуха в контактной и конвективной сушке?</p> <p>10 Какие параметры характеризуют состояние влажного воздуха и какова связь между ними? (Отразить на I-x диаграмме)</p> <p>11 С помощью каких уравнений рассчитываются: масса удалённой влаги, расход воздуха и тепла на сушку?</p> <p>12 Чем действительный процесс сушки отличается от теоретического? (Показать на I-x диаграмме)</p> <p>13 Почему в теоретическом процессе энтальпия воздуха практически не изменяется?</p> <p>14 Из какого баланса может быть получено уравнение реального процесса сушки?</p> <p>15 Что такое потенциал сушки, что он характеризует?</p> <p>16 Какие формы связи влаги с материалом существуют?</p> <p>17 Что является движущей силой процесса сушки?</p>	<p>91</p>

	<p>18 Какие факторы являются определяющими в 1 и 2 периодах сушки?</p> <p>19 Как рассчитывается продолжительность сушки в 1 и 2 периодах?</p> <p>20 Почему скорость сушки в 1 периоде постоянна? Чем обусловлено её падение во 2 периоде?</p> <p>21 Почему сорбция влаги в одних и тех же условиях протекает труднее чем сушка?</p> <p>22 Каковы условия равновесия при сушке?</p> <p>23 Какие конструкции конвективных сушильных установок применяются на предприятиях молочной промышленности?</p> <p>24 Какие известны конструкции контактных сушилок?</p> <p>25 Какие продукты сушат в распылительных сушилках? Почему в ряде случаев применяют двух ступенчатую сушку?</p> <p>Кристаллизация</p> <p>26 Каково назначение процесса, его механизмы и движущая сила?</p> <p>27 Какие факторы влияют на равновесие при кристаллизации?</p> <p>28 С какой целью создаётся пересыщение или переохлаждение пред кристаллизацией?</p> <p>29 Какие параметры влияют на основные стадии кристаллизации: зародышеобразования и рост кристаллов?</p> <p>30 В чём сущность изотермической и изогидрической кристаллизации?</p> <p>31 Какие уравнения положены в основу расчёта кристаллизаторов?</p> <p>32 Какие основные конструкции кристаллизаторов применяются на предприятиях пищевой отрасли?</p> <p>Ректификация и перегонка</p> <p>33 .На каких свойствах жидких смесей основан метод перегонки?</p> <p>34.Какие разновидности простой пререгонки применяются в пищевой промышленности?</p> <p>35.В чём заключается различие простой перегонки и ректификации?</p> <p>36.Каким законом подчиняются идеальные и реальные смеси жидкостей?</p> <p>37.Каковы условия равновесия для идеальных и реальных смесей жидкости?</p> <p>38.Как рассчитываются количество дистиллята, кубового остатка и флегмовое число?</p> <p>39.Как строятся рабочие линии процесса?</p> <p>40.Как рассчитывается число тарелок и рабочая высота ректификационной колонны?</p> <p>41. Какие конструкции ректификационных колонн применяются</p>	
--	--	--

	<p>в пищевой промышленности?</p> <p>Экстракция</p> <p>42. В чём сущность процесса экстракции в системе жидкость – жидкость? Какие компоненты участвуют в этом процессе?</p> <p>43. Каковы условия равновесия при экстракции? Какие факторы влияют на этот процес?</p> <p>44. Какие диаграммы отображают процесс экстракции?</p> <p>45. Какой закон описывает массопередачу при экстракции?</p> <p>46. Как рассчитывается коэффициент массопередачи?</p> <p>47. В чём заключается расчёт экстракторов?</p> <p>48. В чём заключается принцип действия основных конструкций экстракторов: тарельчатых, роторно-дисковых, вибрационных, центробежных?</p> <p>49. Какие компоненты участвуют в процессе экстракции твёрдое тело – жидкость (выщелачивание)?</p> <p>50. От каких факторов зависит скорость этого процесса?</p> <p>51. На каких уравнениях основан расчёт аппаратов для выщелачивания?</p> <p>52. Какие основные конструкции экстракторов этого типа применяются в пищевой промышленности?</p>	
ИТОГО		157

7.3 Вопросы для промежуточной аттестации

7.3.1 Вопросы к зачету

Теплопередача

1. Основные термины: теплообмен, теплоотдача, теплопередача, теплоноситель, тепловой поток, удельный тепловой поток. Провести различения и дать определения.
2. Способы и механизмы переноса тепла. Какие механизмы характерны для твёрдых, жидких и газообразных сред?
3. Какой закон положен в основу составления уравнения тепловых балансов?
4. Теплопроводность как механизм переноса тепла. Для какого агрегатного состояния этот способ является единственным? Закон Фурье, физический смысл коэффициента теплопроводности.
5. Лучеиспускание. Закон Кирхгофа. Лучистый теплообмен между двумя плоскостями параллельно расположенными телами.
6. Теплоотдача. Основное уравнение (закон Ньютона). Каков физический смысл коэффициента теплоотдачи? Возможно ли его определить из уравнения Ньютона?
7. Какие критерии теплового и гидромеханического подобия входят в критериальные уравнения? Чем определяется конкретный вид критериального уравнения?

Выпаривание

1. Назначение процесса. Принципиальная схема.
2. Способы выпаривания (под атмосферным, избыточным давлением и разрежением) и их сравнительная оценка.
3. При каких условиях осуществляют выпаривание под разрежением, и как создаётся вакуум?

4. Выпарные аппараты циркуляционного и плёночного типа и их сравнительная оценка.
5. Назначение: калоризатора, сепаратора и конденсатора?
6. Составить уравнение теплового баланса для однокорпусного выпарного аппарата. Доказать, что приближённо 1 кг греющего пара выпаривает приближённо 1 кг воды.
7. Перечислить способы экономии тепла в процессе выпаривания.
8. Сформулировать принципы многократного выпаривания. Составить схему двухкорпусной вакуум-выпарного аппарата с отбором вторичного пара на паровой инжектор (термокомпрессор) после первого корпуса и отбором экстрапара после второго.

Сушка

1. Назначение и сущность процесса. Роль воздуха в контактной и конвективной сушке. Ответ представить в схеме.
2. Основные параметры влажного воздуха: абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, теплосодержание (энтальпия), плотность, парциальное давление. Записать уравнения, связывающие эти параметры.
3. Изобразить J-X диаграмму. Показать на ней процессы: нагрева, охлаждения, теоретической сушки.
4. Составить уравнение материального баланса по высушиваемому продукту и баланса по влаге.
5. Каковы механизмы массопереноса влаги внутри твёрдого влажного материала к поверхности и от поверхности раздела фаз в воздух? Какими законами описывается этот процесс.
9. Построить кривую сушки и кривую скорости сушки. Выделить на них 1^{ый} и 2^{ой} периоды и записать уравнения кинетики для этих периодов. Что является движущей силой процесса в 1^{ом} и 2^{ом} периодах?

7.3.2 Вопросы к экзамену

1. Способы переноса тепла. Теплопроводность. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.
2. Конвекция. Механизм переноса тепла конвекции. Основное уравнение теплоотдачи. Коэффициент теплоотдачи.
3. Критерии теплового подобия. Их применение в тепловых расчетах.
4. Механизм переноса тепла излучением. Коэффициент теплоотдачи излучением.
5. Теплопередача при постоянных температурах теплоносителей. Основное уравнение теплопередачи.
6. Теплопередача при переменных температурах теплоносителей. Определение среднего температурного напора.
7. Основные конструкции теплообменных аппаратов. Их сравнительная оценка.
8. Характеристика основных теплоносителей. Схемы движения теплоносителей. Их сравнительная оценка.
9. Конденсация. Теплоотдача при конденсации. Конденсаторы, их устройство и принцип действия.
10. Выпаривание. Физическая сущность процесса. Выпарные аппараты, применяемые в пищевой промышленности, их устройство и принцип действия.
11. Многокорпусные выпарные установки. Принцип многократного использования пара.
12. Уравнения материального и теплового балансов при выпаривании.
13. Полная и полезная разности температур. Их расчет.

14. Температурные потери (депрессии), возникающие в выпарных аппаратах. Их определение.
15. Выпаривание с применением термокомпрессии. Термоинжектор, устройство, принцип работы. Коэффициент инъекции.
16. Процессы адиабатического расширения, смещения и сжатия в термокомпрессоре. Изображение процессов на I – S диаграмме.
17. Механизм массопереноса. Молекулярная диффузия. Первый закон Фика. Коэффициент диффузии.
18. Конвективная диффузия. Основное уравнение массоотдачи. Коэффициент массоотдачи.
19. Основное уравнение массопередачи. Коэффициент массопередачи.
20. Растворение и кристаллизация. Назначение процессов. Физические основы. Уравнение материального и теплового балансов процесса кристаллизации. Основные конструкции кристаллизаторов.
21. Сушка. Назначение процесса. Уравнения материального и теплового балансов.
22. Параметры влажного воздуха, их изображение на I-X диаграмме.
23. Изображение процессов теоретической и реальной сушки на I – X диаграмме.
24. Кинетика сушки. Построение кривых сушки и скорости сушки.
25. Расчет расхода воздуха и тепла на сушку. Основные конструкции сушильных установок.
26. Ректификация. Назначение процесса. Физические основы процесса. Основные законы. Аппараты для осуществления процесса и их расчет.
27. Экстракция. Сущность процесса. Экстракция из жидких и твердых тел. Массопередача при экстракции. Конструкция и расчет экстракторов.

7.3.3. Темы курсовых проектов

- Проект кожухотрубного теплообменного аппарата.
- Проект трубчатого теплообменного аппарата.
- Проект конденсатора поверхностного типа.
- Проект теплообменного аппарата емкостного типа.
- Проект пластинчатого пастеризационно-охладительного аппарата.
- Проект охлаждающего аппарата пластинчатого типа
- Проект вакуум-выпарного аппарата циркуляционного типа.
- Проект вакуум-выпарного аппарата пленочного типа.
- Проект распылительного сушильного аппарата.
- Проект барабанного сушильного аппарата.
- Проект сушильного аппарата в «кипящем» слое.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. **Тепловые и массообменные процессы:** Учебное пособие/ Гнездилова А.И. - Вологда - Молочное: ИЦ ВГМХА, 2021.- 106с.
2. **Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и тепло-массообменных процессов** [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / А. Н. Остриков, В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, А. В. Терехина. - 2-е изд., стер. - Электрон.дан. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 440 с. - Внешняя ссылка: <https://e.lanbook.com/book/163402>
3. **Гнездилова, А. И.** Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс] : учебник и практикум для вузов / А. И. Гнездилова. - 2-е изд., пер. и доп. -

Электрон. дан.col. - Москва : Юрайт, 2020. - 270 с. - (Высшее образование). - Режим доступа: Электронно-библиотечная система Юрайт, для авториз. пользователей
Внешняя ссылка: <https://urait.ru/bcode/452664>

4. **Процессы и аппараты** пищевой технологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / [С. А. Бредихин, А. С. Бредихин, В. Г. Жуков, Ю. В.Космодемьянский] ; под ред. С. А. Бредихина. - Электрон.дан. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 544 с. - (Учебники для вузов)(Специальная литература). - Внешняя ссылка: <https://e.lanbook.com/book/168675>

б) дополнительная литература

1.**Гнездилова, А.И.** Конструктивный и прочностной расчет теплообменных аппаратов: учебно-метод. пособие по курсовому проектированию и выпускной квалификац. работе для студентов всех форм обучения по направлениям: 15.03.02 - Технол. машины и оборудование, 15.04.02 - Технол. машины и оборудование / А. И. Гнездилова, Ю. В. Виноградова ; М-во сельского хоз-ва Рос. Федерации, Вологодская ГМХА, Технол. фак., Каф. технол. оборуд. - Вологда ; Молочное : ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2019. - 84 с. - Библиогр.: с. 51

2. **Бакин, И. А.** Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс] : учебное пособие / И. А. Бакин, В. Н. Иванец. - Электрон.дан. - Кемерово : КемГУ, 2020. - 235 с. - Внешняя ссылка: <https://e.lanbook.com/book/156113>

3.**Сергеев, А. А.** Процессы и аппараты пищевой технологии. Курс лекций [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. А. Сергеев. - Электрон.дан. - Ижевск : Ижевская ГСХА, 2020. - 228 с. - Внешняя ссылка: <https://e.lanbook.com/book/158614>

4. **Алексеев, Г. В.** Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств» [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. В. Алексеев, И. И. Бриденко, Н. И. Лукин. - Электрон.дан. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 144 с. - Внешняя ссылка: <https://e.lanbook.com/book/167912>

5. 3. **Процессы и аппараты** пищевых производств и биотехнологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д. М. Бородулин, М. Т. Шулбаева, Е. А. Сафонова, Е. А. Вагайцева. - 3-е изд., стер. - Электрон.дан. - Санкт-Петербург : Лань, 2020. - 292 с. - (Учебники для вузов)(Специальная литература). - Внешняя ссылка: <https://e.lanbook.com/book/132259>.

в) Перечень информационных технологий, используемых в обучении, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Лицензионное программное обеспечение:

Microsoft Windows XP / Microsoft Windows 7 Professional , Microsoft Office Professional 2003 / Microsoft Office Professional 2007 / Microsoft Office Professional 2010
STATISTICA Advanced + QC 10 for Windows

в т.ч. отечественное

Astra Linux Special Edition РУСБ 10015-01 версии 1.6.

1С:Предприятие 8. Конфигурация, 1С: Бухгалтерия 8 (учебная версия)

Project Expert 7 (Tutorial) for Windows

СПС КонсультантПлюс

Kaspersky Endpoint Security для бизнеса Стандартный

Свободно распространяемое лицензионное программное обеспечение:

OpenOffice

LibreOffice

7-Zip

Adobe Acrobat Reader
Google Chrome
в т.ч. отечественное
Яндекс.Браузер

Информационные справочные системы

- [Единое окно доступа к образовательным ресурсам](http://window.edu.ru/) – режим доступа: <http://window.edu.ru/>
- ИПС «КонсультантПлюс» – режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
- Интерфакс - Центр раскрытия корпоративной информации (сервер раскрытия информации) – режим доступа: <https://www.e-disclosure.ru/>
- Информационно-правовой портал ГАРАНТ.RU – режим доступа: <http://www.garant.ru/>
- Автоматизированная справочная система «Сельхозтехника» (web-версия) - режим доступ: <http://gtexam.ru/>

Профессиональные базы данных

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – режим доступа: <http://elibrary.ru>
- Наукометрическая база данных Scopus: база данных рефератов и цитирования – режим доступа: <https://www.scopus.com/customer/profile/display.uri>
- Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики – режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/> (Открытый доступ)
- Российская Академия Наук, открытый доступ к научным журналам – режим доступа: <http://www.ras.ru> (Открытый доступ)
- Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Российской Федерации – режим доступа: <http://mex.ru/> (Открытый доступ)

Электронные библиотечные системы:

- Электронный библиотечный каталог Web ИРБИС – режим доступа: https://molochnoe.ru/cgi-bin/irbis64r_14/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBNAM=STATIC&I21DBN=STATIC
- ЭБС ЛАНЬ – режим доступа: <https://e.lanbook.com/>
- ЭБС Znanium.com – режим доступа: <https://new.znanium.com/>
- ЭБС ЮРАЙТ – режим доступа: <https://urait.ru/>
- ЭБС POLPRED.COM: <http://www.polpred.com/>
- Электронная библиотека издательского центра «Академия»: <https://www.academia-moscow.ru/elibrary/> (коллекция СПО)
- ЭБС ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА – режим доступа: <https://molochnoe.ru/ebs/>
-

Программное обеспечение, используемое в обучении:

- Система управления обучением MOODLE (Образовательный портал) – режим доступа: <https://moodle.molochnoe.ru/>

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционная аудитория № 1115, оснащенная проектором

Лаборатория №1108, оснащенная приборами и оборудованием:

- конвективная сушилка;
- пароструйный насос;
- психрометр МВ - 4М;
- теплообменные пластины для пластинчатого аппарата;

- калоризатор вакуум-выпарного аппарата;

Лаборатория №1109, оснащенная компьютерами и программным обеспечением для проведения виртуальных лабораторных работ:

- «Изучение процессов нагрева и рекуперации теплоты»;
- «Исследование работы двухкорпусной выпарной установки»;
- «Исследование процесса распылительной сушки».

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ

Для обеспечения образования инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья реализация дисциплины может осуществляться в адаптированном виде, исходя из индивидуальных психофизических особенностей и по личному заявлению обучающегося, в части создания специальных условий.

В специальные условия могут входить: предоставление отдельной аудитории, необходимых технических средств, присутствие ассистента, оказывающего необходимую техническую помощь, выбор формы предоставления инструкции по порядку проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, использование специальных технических средств, предоставление перерыва для приема пищи, лекарств и др.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

10.Карта компетенций дисциплины

«Тепловые и массообменные процессы»,

Направление подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование, Профиль Машины и аппараты пищевых производств

Цель дисциплины	сформировать у студентов знания тепловых и массообменных процессов пищевых производств и аппаратов для их осуществления с учетом технических и экологических аспектов, а также практическую подготовку к решению конкретных производственных задач.				
Задачи дисциплины	<ul style="list-style-type: none"> - формирование знаний об основных тепловых и массообменных процессах, протекающих в различных производствах; - формирование навыков по использованию современных методов исследования тепловых и массообменных процессов; - развитие навыков выбора оптимальных конструкций аппаратов в конкретных производствах; - ознакомление с научными достижениями и современными тенденциями развития и использования новых физических методов обработки пищевых продуктов. 				
В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие					
Компетенции		Планируемые результаты обучения (индикаторы достижения компетенции)	Технологии формирования	Форма оценочного средства	Ступени уровней освоения компетенции
Индекс	Формулировка				
ОПК-9	Способен разрабатывать новое технологическое оборудование	<p>Знать: содержание технологических процессов.</p> <p>Уметь: использовать знания технологических процессов при решении профессиональных задач.</p> <p>Владеть: способностью разрабатывать новое технологическое оборудование</p>	<p>Лекции</p> <p>Практические занятия</p> <p>Самостоятельная работа</p> <p>Интерактивные занятия</p>	<p>Устный опрос,</p> <p>письменный контроль,</p> <p>тестирование,</p> <p>проведение деловой игры,</p> <p>курсовое проектирование</p>	<p>Пороговый (удовлетворительный) От 30-55 баллов Знает содержание технологических процессов.</p> <p>Продвинутый(хорошо)От 56-75 баллов</p> <p>Умеет использовать знания технологических процессов при решении профессиональных задач</p> <p>Высокий(отлично)От 76-100 баллов</p> <p>Владет способностью</p>

					разрабатывать новое технологическое оборудование
ПК-4	Способность разрабатывать методические и нормативные материалы, также предложения и мероприятия по осуществлению разработанных проектов программ	<p>Знать: содержание современных методических и нормативных материалов в области разработки и использования машин и оборудования;</p> <p>Уметь: разрабатывать методические и нормативные материалы, составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов.</p> <p>Владеть: способностью по осуществлению разработанных проектов и программ</p>	<p>Лекции Практические занятия Самостоятельная работа</p> <p>Интерактивные занятия</p>	Устный опрос, письменный контроль, тестирование, проведение деловой игры	<p>Пороговый (удовлетворительный) От 30-55 баллов Знает содержание современных методических и нормативных материалов в области разработки и использования машин и оборудования.</p> <p>Продвинутый(хорошо) От 56-75 баллов Умеет разрабатывать методические и нормативные материалы, составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов.</p> <p>Высокий(отлично) От 76-100 баллов Владеет способностью по осуществлению разработанных проектов и программ</p>