***На правах рукописи***

Минобрнауки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«Оренбургский государственный университет»**

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

*«Б1.Д.Б.25 Процессы и аппараты пищевых производств»*

Уровень высшего образования

БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки

*19.03.02 Продукты питания из растительного сырья*

(код и наименование направления подготовки)

*Технология продуктов питания из растительного сырья*

(наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Квалификация

*Бакалавр*

Форма обучения

*Заочная*

Составитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Соловых С. Ю.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры машин и аппаратов химических и пищевых производств

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Василевская С.П.

Методические указания является приложением к рабочей программе по дисциплине Процессы и аппараты пищевых производств, зарегистрированной в ЦИТ под учетным номером\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |
| --- |
|  |
|  |

**Содержание**

[1. Методические рекомендации по изучению дисциплины 4](#_Toc24110974)

[2. Методические рекомендации при подготовке к лекциям 4](#_Toc24110975)

[3. Методические рекомендации при подготовке к лабораторным занятиям 4](#_Toc24110976)

[4. Методические указания по самостоятельной работе 5](#_Toc24110977)

[5. Методические указания к контрольной работе 6](#_Toc24110978)

[6. Методические указания по промежуточной аттестации по дисциплине 10](#_Toc24110979)

# Методические рекомендации по изучению дисциплины

Студентам необходимо ознакомиться:

- с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, имеющимся в ЭБС, на образовательных порталах в Интернет или сайте кафедры, с графиком консультаций преподавателей кафедры.

После получения списка рекомендованной литературы студенту необходимо получить в библиотеке доступ (в бумажном/электронном виде) как минимум к одному из рекомендованных источников.

# Методические рекомендации при подготовке к лекциям

Лекции являются **о**сновным видом аудиторной работы студентов. Они дают систематизированные знания студентам о наиболее сложных и актуальных проблемах изучаемой дисциплины. На лекциях особое внимание уделяется не только усвоению студентами изучаемых проблем, но и стимулированию их активной познавательной деятельности, творческого мышления, развитию научного мировоззрения, профессионально-значимых свойств и качеств.

Осуществляя учебные действия на лекционных занятиях, студенты должны внимательно воспринимать действия преподавателя, запоминать складывающиеся образы, мыслить, добиваться понимания изучаемого предмета, применения знаний на практике, при решении учебно-профессиональных задач. Студенты должны аккуратно вести конспект. В случае недопонимания какой-либо части предмета следует задать вопрос в установленном порядке преподавателю. В процессе работы на лекции необходимо так же выполнять в конспектах модели изучаемого предмета (рисунки, схемы, чертежи и т.д.), которые использует преподаватель. Работу над конспектом следует начинать с его доработки, желательно в тот же день, пока материал еще легко воспроизводим в памяти. С целью доработки необходимо прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл.

Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополняя и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего рекомендуется применять различные способы выделений. Доработанный конспект и рекомендуемая литература используются при подготовке к практическим занятиям.

# Методические рекомендации при подготовке к лабораторным и практическим занятиям

Лекция закладывает основы знаний по предмету в обобщенной форме, а лабораторные занятия направлены на расширение и детализацию этих знаний, на выработку и закрепление навыков профессиональной деятельности. Подготовка к лабораторным занятиям предполагает предварительную самостоятельную работу студентов в соответствии с методическими разработками по каждой запланированной теме.

Занятия позволяют интегрировать теоретические знания и формировать практические умения и навыки студентов в процессе учебной деятельности.

Занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, отработки планируемых результатов обучения в компетенциях «уметь» и «владеть». Занятия проводятся под руководством преподавателя в учебной аудитории.

На занятиях осуществляются следующие формы работ со студентами: *индивидуальная* (оформление и защита отчета по работе); *групповая* (выполнение заданий малыми группами до 4 человек).

**Структура и последовательность занятий**: на первом, вводном, занятии проводится инструктаж студентов по охране труда, технике безопасности и правилам работы в лаборатории по инструкциям утвержденного образца с фиксацией результатов в журнале инструктажа. Студенты также знакомятся с основными требованиями преподавателя по выполнению учебного плана, с графиком прохождения лабораторных занятий, с графиком прохождения контрольных заданий, с основными формам отчетности по выполненным работам и заданиям.

**Преследующие работы проводятся согласно следующему алгоритму:**

* + 1. Ознакомление с теорией по осуществляемой работе
    2. Подготовка рабочего места для проведения эксперимента
    3. Планирование эксперимента и его осуществление
    4. Анализ результатов по проведенным расчетам
    5. Оформление отчета с расчетами, рисунками и графиками,
    6. Защита отчета

**Требования к оформлению работы**

Отчет по работе оформляется на листах формата А4 согласно требованиям СТО 02069024.101 и должен содержать:

- титульный лист с названием работы;

- цель работы;

- схему экспериментальной установки;

- таблицы опытных и расчетных величин;

- расчеты;

- необходимые графики, выполненные на миллиметровой бумаге или на компьютере;

- выводы о проделанной работе.

После окончания работы студенты должны навести порядок на своем рабочем месте, сдать все инструменты лаборанту.

В процессе защиты работы выявляется соответствующая компетентность согласно заданию и дается комплексная оценка деятельности студента.

Для подготовки к занятиям рекомендуется использовать следующий источник:

**Лабораторный практикум по курсу "Процессы и аппараты пищевых производств**" [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Н. Холодилин, С. Ю. Соловых; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет.образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон.текстовые дан. (1 файл: Kb). - Оренбург :ОГУ, 2014. - Adobe Acrobat Reader 5.0 – Режим доступа: <http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/6349_20141106.pdf>

**Задача на гидромеханические процессы:**

Картофельная кашка, полученная после протирочной машины, представляет собой неоднородную систему – суспензию.

**Задача:** Определить объемную производительность V (в м3/с) и мощность электродвигателя NДВ (в кВт) горизонтальной отстойной центрифуги периодического действия при её работе на картофельной суспензии по следующим данным:

Наружный диаметр барабана – DН, м;

Внутренний диаметр барабана – DВН, м;

Длина барабана – L, м;

Масса барабана – mБ, кг;

Масса суспензии, загруженной в барабан – mС, кг;

Продолжительность разгона барабана – τР, с;

Диаметр шейки вала – dШ;

Плотность частиц суспензии – ρЧ, кг/м3;

Плотность среды – ρЖ, кг/м3;

Наименьший диаметр частицы – d, мкм;

Частота вращения барабана – n, об/мин.

**Методика решения.**

1. Определяем угловую скорость вращения барабана (в рад/с)

; (1.8)

1. Скорость центробежного осаждения частицы  (в м/с) при ламинарном движении Re<0,2 определяется из уравнения Стокса, *r=Dвн/2*

; (1.9)

1. Проверяем режим осаждения

; (1.10)

1. Определяем внутренний радиус кольца R0 (в м)

; (1.11)

1. Площадь поверхности суспензии в барабане F (в м2) рассчитывается по уравнению

; (1.12)

1. Производительность отстойных центрифуг V (в м3/с) описывается формулой

, (1.13)

где η – коэффициент, учитывающий отношение действительной производительности к теоретической (η = 0,4 ÷ 0,5)

1. Общую мощность, необходимую для работы центрифуги находят так

, (1.14)

где N1 – мощность, необходимая для разгона барабана

N2 – мощность, потраченная на сообщение кинетической энергии утфелю,

N3 – мощность, необходимая для преодоления силы трения в подшипниках,

N4 – мощность на преодоление трения барабана о воздух.

1. Мощность, необходимая для разгона барабана, N1 (в кВт) рассчитывается по формуле

; (1.15)

1. Мощность, потраченная на сообщение кинетической энергии утфелю, N2 (в кВт) вычисляется по формуле

, (1.16)

где k – коэффициент, учитывающий гидравлическое сопротивление при перемешивании суспензии в барабане (k = 0,8).

1. Мощность, необходимая для преодоления силы трения в подшипниках, N3 (в кВт) рассчитывается по формуле

, (1.17)

где Р – динамическая нагрузка на подшипники.

1. Динамическая нагрузка на подшипники Р (в Н) будет равна

, (1.18)

где m – масса барабана с суспензией (m = mБ + mС), кг;

ƒ – коэффициент трения, равный 0,01;

KЦ – фактор разделения в барабане центрифуги.

1. Фактор разделения KЦ равен

; (1.19)

1. Мощность на преодоление трения барабана о воздух N4 (в кВт) вычисляется по формуле

; (1.20)

1. С учетом запаса мощности в период пуска, равного 20%, и КПД, необходимая мощность электродвигателя для центрифуги будет равна

. (1.21)

**Задача на теплообменные процессы:**

В конденсаторе ректификационной колонны кон­денсируется водно-спиртовой пар концентрацией «А» % мас. Охлаждающая вода температурой «Б» °С поступает в аппарат и нагревается до «В» °С. Конденсатор состоит из «Г» труб дли­ной «Д» м, диаметром «D» x «S» мм. Коэффициент теплопередачи аппарата «И» Вт/(м2\*К).

Определить расход конденсирующегося пара.

Расчет ведут в такой последовательности.

1. Рассчитывают поверхность теплопередачи по формуле (2.4)

1. Определяют по справочным таблицам параметры пара:

при концентрации пара «А» % мас. температура конденсации пара *tп* = ? 0С, теплота парообразования *rп* = ? кДж/кг, плот­ность *п* = ? кг/м3.

3. Рассчитывают средний температурный напор

пар

(*tп*) —*>* (*tп*)

вода

(«Б») —*>* («В»)

Предварительно определяют: *tб* =(*tп*) - («Б»), °С; *tм* =(*tп*) - («В»), °С; затем рассчитывают Δ*tср* по формулам:



где - максимальная разность температур,

- минимальная разность температур.

В случае противотока определяются следующим образом



При небольших изменениях температур теплоносителей, когда <2, среднюю разность температур вычисляют как сред­неарифметическую:

,

при этом ошибка не превышает 5 %.

1. Тепловую нагрузку конденсатора находят по формуле

,

где *Q* – количество переданной теплоты;

*К* – коэффициент теплопередачи между средами;

*F* – площадь поверхности теплообмена;

*Δtср* – разность температур между средами – движущая сила процесса;

5. Определяют массовый расход конденсирующегося пара из формул, принимая  = *tп*

Массовый расход *G* (в кг/с)



где  – плотность теплоносителя, кг/м3.

Если скорость теплоносителя неизвестна, массовый расход пара можно определить из уравнения

,

где D – расход пара, кг/с;

*r* – удельная теплота парообразования, Дж/кг.



6. Объемный расход пара находят из формулы



Оформление работы необходимо осуществлять согласно требованиям СТО 02069024.101-2015 «Работы студенческие».

# Методические указания по самостоятельной работе

**Целью самостоятельной работы студентов** (СРС) является освоение фундаментальных знаний, развитие ответственности и организованности, умений самостоятельно работать с учебным материалом и приобретение навыков поиска и реферирования доступной научной информации в предметной области изучаемой дисциплины.

Основной формой СРС является работа с лекционным материалом: проработка и повторение конспекта лекций, работа на чистых страницах конспекта с терминами, дополнение конспекта материалами из рекомендованного списка литературы. Приветствуется инициатива студентов к поиску новой информации по изучаемой дисциплине, не освещенная или представленная кратко в лекционном курсе.

При самостоятельной работе особое внимание следует уделить следующим темам: теоремы подобия; метод анализа размерностей; оборудование для осаждения; оборудование для фильтрования; оборудование для обратного осмоса; процессы псевдоожижения; оборудование для перемешивания; оборудование для тепловой обработки и выпаривания; адсорберы и абсорберы; аппараты для проведения ректификации; оборудование для сушки; аппараты для проведения процессов растворения и кристаллизации; оборудование, используемое для измельчения материалов; оборудование, используемое при прессовании.

При самостоятельной подготовке к лабораторным занятиям необходимо ознакомиться с теоретическим материалом по теме работы, выяснить основные формулы и зависимости, законы и закономерности. Уяснить для себя порядок действий при проведении эксперимента и выполнении практических действий с оборудованием.

# Методические указания к курсовой работе

Курсовая работа имеет целью научить студентов самостоятельно применять полученные знания для комплексного решения конкретных теоретических и практических задач. Курсовая работа представляет собой расчет одного из видов теплоиспользующего оборудования – теплообменника определенной конструкции, как наиболее широко используемого аппарата при производстве пищевых продуктов.

Курсовая работа выполняется студентом самостоятельно под руководством преподавателя.

Структура курсовой работы:

- титульный лист**,**

- аннотация;

- оглавление

- введение;

- основная часть, включающая тепловой, конструктивный и гидравлический расчеты,

- заключение

- список литературы;

- чертеж общего вида теплообменника.

Во введении должны быть освещены конструкции теплообменников, их особенности, достоинства и недостатки.

В основной части подробно раскрывается каждый вид расчета, используемые формулы расшифровываются. Между разделами должна быть четкая взаимосвязь. В заключении курсовой работы кратко описываются полученные результаты. В список литературы студент включает только те документы, которые он использовал при написании курсовой работы.

Чертёж выполняется в чертежных компьютерных системах на формате А1. На листе вычерчивается общий вид теплообменника и пластина или поперечный разрез, в зависимости от конструкции оборудования.

Оформление работы необходимо осуществлять согласно требованиям СТО 02069024.101-2015 «Работы студенческие».

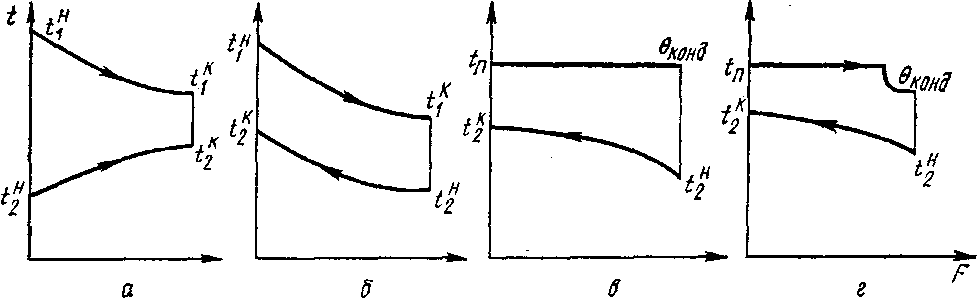
**Методические рекомендации для расчета.**

**1 Исходные данные для расчета**

Количество подогреваемого раствора М (кг/с), начальные  и конечные  температуры теплоносителей; для кожухотрубного аппарата вместо температур греющего пара дано его давление р (Па), геометрические размеры труб (внутренний/внешний диаметр dв/dн (м), толщина стенки трубы δ (м), длина трубы l (м)); для пластинчатого теплообменника дается площадь поверхности одной пластины f (м2), скорость движения теплоносителей υ,( υ1, υ2) (м/с).

**2 Тепловой расчет**

**2.1 Определение температурных условий нагревания**



а – прямоточное движение теплоносителей без изменения агрегатного состояния, б – противоточное движение теплоносителей без изменения агрегатного состояния, в – противоточное движение теплоносителей с изменением агрегатного состояния одного из них (), г – то же, но 

Рисунок 1 – Графики изменения температур в процессе теплообмена

2.1.1 Принимаем, что движение теплоносителей осуществляется в противотоке.

Для кожухотрубного теплообменника: по давлению насыщенного пара P определяем температуру насыщения пара ts.

Определяем большую и меньшую разности температур (значения температур выбраны условно: «1» – горячий теплоноситель, «2» – холодный теплоноситель)

 (1)

Для пластинчатого теплообменника определяем большую и меньшую разности температур так

 (2)

2.1.2 Определяем среднюю разность температур теплоносителей (средний температурный напор) :

 (3)

Для кожухотрубного теплообменника определяем среднюю температуру нагреваемого раствора по формуле (4), для пластинчатого теплообменника – по формуле (5)

 (4)

 (5)

**2.2 Определение физических параметров нагреваемого раствора**

При средних температурах tср определяем: теплопроводность λ, удельную теплоемкость с, плотность ρ, динамическую вязкость μ нагреваемого раствора по справочным таблицам. Также определяем критерий Прандтля Pr.

**2.3 Определение тепловой нагрузки**

Тепловую нагрузку Q (в Вт) (и расход пара D (кг/с) – для кожухотрубного теплообменника) определяем следующим образом:

 (6)

, (7)

где r – удельная теплота парообразования при ts,

х – коэффициент, учитывающий тепловые потери (1,02…1,05),

с – средняя удельная теплоемкость раствора при tcp.

**2.4 Расчет коэффициента теплопередачи и общего термического сопротивления**

2.4.1 Для расчета коэффициента теплопередачи необходимо предварительно определить коэффициенты теплоотдачи теплоносителей. Коэффициенты рассчитываются из критериальных уравнений.

В общем виде уравнение можно представить следующим образом:

Nu = f(Re, Pr, Gr, Fo), (8)

где  – критерий Рейнолдса,

 – критерий Прандтля,

 – критерий Грасгофа,

 – критерий Фурье,

υ – скорость течения теплоносителя, м/с

d – определяющий размер аппарата, м

ρ – плотность, кг/м3

μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с

ν – коэффициент кинематической вязкости, м2/с

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)

β – коэффициент объемного расширения, 1/К

Если теплообмен идет с фазовыми превращениями, то в уравнение включается критерий фазового превращения

– критерий Кутателадзе,

где  – разность температуры пара и поверхности – перепад температур на пленке конденсата.

2.4.2 В частных случаях:

а) для кожухотрубного теплообменника с фазовыми превращениями:

– при конденсации пара на наружной поверхности вертикальных труб высотой h при ламинарном стекании пленки конденсата получено выражение для коэффициен­та теплоотдачи:

 (9)

где – удельная теплота парообразования, определяется в зависимости от давления насыщенного пара, Дж/кг;  – физические параметры конденсата, опре­деляются в зависимости от средней температуры пленки конденсата .

, (10)

где – температура стенки, на которой происходит конденсация.

Обычно ей задаются, а затем проверяют методом последовательных приближений с помощью формулы:

 (11)

– при конденсации пара на наружной поверхности горизон­тальных труб с наружным диаметром 

 (12)

При небольшом значении  температуру стенки  можно при­нять равной температуре конденсации (насыщения).

б) для кожухотрубного теплообменника при теплообмене без фазовых превращений:

– теплоотдача при развитом турбулентном течении в прямых трубах без изменения агрегатного состояния теплоносителей (Rе>10000)

 (13)

Коэффициент  учитывает влияние на коэффициент теплоотдачи отношения длины трубы l к ее диаметру d; при . Формула (13) используется при расчетах, как при нагре­вании, так и при охлаждении жидкостей и газов. Влияние направления теплового потока учитывается отношением Pr/Prст, где Prст – критерий Прандтля, вычисленный при температуре стен­ки, соприкасающейся с потоком.

При проектировании теплообменников расчет коэффициента теплоотдачи для нагревающихся капельных жидкостей можно вести без учета отношения (Рr/Рrст)0,25, допуская при этом небольшую погрешность в сторону уменьшения коэффициента теплоотдачи, т. е. в сторону запаса, так как с повышением температуры критерий Рr уменьшается, а (Рr/Рrст)0,25 становится меньшим 1;

– теплоотдача при переходном режиме 2320<Rе<10000. Надежных формул для определения критерия Nu в этой области нет. С некоторой точностью можно пользоваться формулой

 (14)

Можно также рекомендовать для определения коэффициента теплоотдачи при переходном режиме использовать соотношение

 (15)

где  – коэффициент теплоотдачи при турбулентном режиме, определяется из формулы (13);

 – поправочный коэффициент при переходном режиме, зависящий от величины критерия Рейнольдса и определяемый на ос­новании данных, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость поправочного коэффициента при переходном режиме от величины критерия Рейнольдса

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Значение показателей | | | | | | |
| Критерий Re | 2500 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 8000 | 10000 |
| Поправочн. коэф. | 0,40 | 0,57 | 0,72 | 0,81 | 0,88 | 0,96 | 1,00 |

– теплоотдача при ламинарном режиме (Rе<2320) в прямых трубах

, (16)

или

. (17)

Определив величину критерия Нуссельта, находят значения коэффициента теплоотдачи

, (18)

в) для пластинчатого теплообменника величины критерия Nu как для горячего, так и для холодного теплоносителей определяют по формулам, зависящим от типа выбранной пластины, скорости и теплофизических параметров теплоносителей. Данные представлены в литературе /5,9/ и приложениях Г и Д.

После определения критерия Нуссельта, значения коэффициентов теплоотдачи находятся следующим образом

, , (19)

где dэ – эквивалентный диаметр каналов пластин (выбирается из технических характеристик пластины).

2.4.3 Коэффициент теплопередачи , определяется следующим образом.

Для плоской поверхности нагрева и для цилиндрической (если у трубы)

, (20)

 (21)

Для цилиндрической поверхности нагрева () коэффициент теплопередачи   определяют на 1 м длины:

 (22)

Для пересчета  и  существует зависимость

 (23)

В формулах (20) – (23) приняты следующие обозначения:

– толщина стенки поверхности тепло­передачи, м;

 – теплопроводность материала теплопередающей поверхности, ;

– диаметр трубы соответственно со стороны го­рячего теплоносителя и со стороны холодного теплоносителя и средний;  м;

– суммарное термическое сопротивление стенки и загрязнений;

 и  – термическое сопротивление загрязнений поверхности нагрева аппарата со стороны горячего и холодного теплоносителей, .

Ориентировочные значения  для некоторых теплоносителей приведены в таблице 2.

2.4.4 Для кожухотрубного теплообменника, определив величину коэффициента теплопередачи, проверяют значение принятой в расчете  температуры стенки со стороны конденсирующегося пара из уравнения (11):





Если условие не выполняется, то производят повторный пересчет, изменив .

Таблица 2 – Ориентировочные значения термического сопротивления теплоносителей

|  |  |
| --- | --- |
| Теплоноситель |  |
| Вода загрязненная |  |
| » среднего качества |  |
| » очищенная |  |
| Масло |  |
| Органические жидкости, рассолы, жидкие хладагенты водяной пар (содержащий масло) |  |
| Пары органических жидкостей |  |
| Воздух |  |

Большие значения соответствуют более высоким температурам.

**2.5 Определение площади поверхности теплопередачи**

Площадь поверхности нагрева подогревателя

 (24)

Эту поверхность надо разместить в соответствии с учетом заданных размеров диаметров и длины трубок, что осуществляется в конструктивном расчете.

**3 Конструктивный расчет**

Общей задачей конструктивного расчета является определение основных размеров теплообменника.

**3.1 Расчет для кожухотрубного подогревателя**

Для кожухотрубного теплообменника определяют:

а) размеры проточной части трубного пространства;

б) размещение трубок на решете;

в) диаметр корпуса аппарата;

г) диаметры патрубков.

Также рассчитывают толщину трубчатки, определяют геометрические размеры выпуклых днищ и крышек.

3.1.1 Расчет проточной части аппарата

3.1.1.1 Определяем площадь сечения трубок одного хода

, (25)

где М – количества вещества, протекающего внутри трубок, кг/с

 – плотность вещества, протекающего внутри трубок, кг/м3

 – скорость течения вещества в трубке, м/с.

3.1.1.2 Количество трубок одного хода

, (26)

где  – внутренний диаметр трубок, м.

Полученный результат округляем до целого числа.

3.1.1.3 Расчетная длина пучка трубок во всех ходах

, (27)

где F – площадь поверхности нагрева подогревателя, м2,

n0 – число трубок,

dр – расчетный диаметр трубок, принимаемый в зависимости от соотношения и .

Если , то dp = 0,5(dв+ dн),

, то dp = dв

, то dp = dн.

3.1.1.4 По известной длине трубок l определяем число ходов в трубном пространстве:

 (28)

Округляем z до целого, желательно четного числа.

Общее число трубок, размещаемое на трубной решетке

 (29)

3.1.2 Размещение трубок на решете.

Существует несколько способов размещения трубок (рисунок 14):

а) по вершинам правильных шестиугольников;

б) по сторонам квадратов;

в) по концентрическим окружностям.

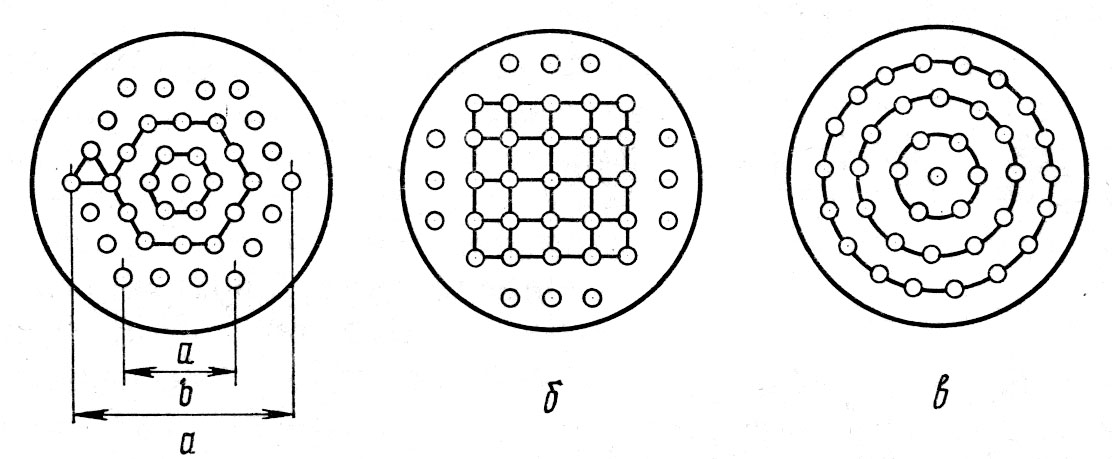


Рисунок 2 – Способы размещения трубок

Чаще всего используют первый способ, дающий максимальное использование площади трубной решетки. При размещении по этому способу зависимость между общим числом трубок n, числом трубок b по диагонали и числом трубок a на стороне шестиугольника следующая:

 (30)

Часть трубной решетки бывает не использованной, поэтому на ней можно разместить до 18 % от общего числа трубок в шестиугольнике. В этом случае общее количество трубок определяется по формуле:

 (31)

Если теплообменник многоходовой, то в каждом ходе должно быть одинаковое количество трубок.

При размещении трубок по первому способу шаг размещения S – расстояние между осями соседних трубок – определяют по данным из таблицы 3.

Таблица 3 – Шаг трубок

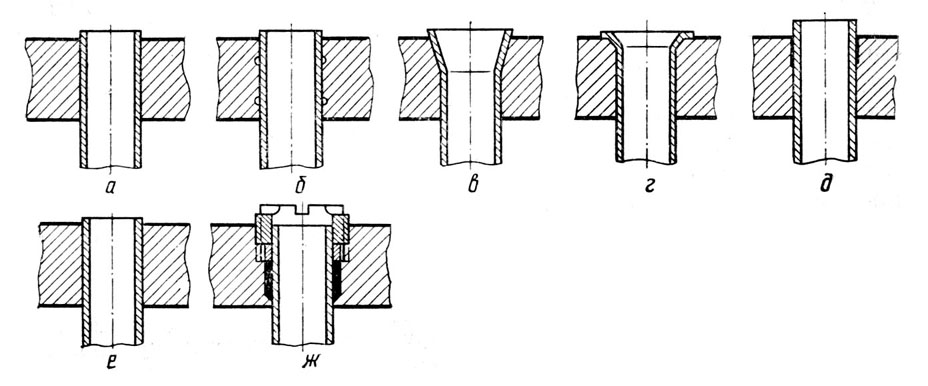
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наружный диаметр трубки dн, мм | 14 | 14-20 | 20-30 | 30 |
| Шаг трубок S, мм | 1,4 dн | 1,35 dн | 1,3 dн | 1,25 dн |

При этом в зависимости от способа крепления на величину шага накладываются следующие ограничения, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Ограничения на шаг трубок

|  |  |
| --- | --- |
| Тип трубок | Шаг трубок, мм |
| Трубки припаянные с сальниковым уплотнением |  |
| Трубки припаянные развальцованные |  |
| Трубки припаянные приваренные |  |
| При толщине стенки δ≤2 мм |  |
| При толщине стенки δ>2 мм |  |

Крепление трубок в трубных решетках возможно как с помощью развальцовки, так и приваркой к трубчатке. Примеры крепления представлены на рисунке 3.



а, б, в, г – развальцовки: цилиндрическая, с канавками, на конкус, с отбортовкой, д – припайка трубок, е – приварка трубок, ж – сальниковое крепление

Рисунок 3 – Крепление труб в трубных решетках

Перед вальцовкой концы трубок и отверстия в труб­ных решетках тщательно обрабатываются, зазор между труб­кой и отверстием не должен превышать 1 % от диаметра. Кон­цы трубок вставляются в отверстия решетки, после чего ролика­ми вальцовки концы трубок подвергают внутренней обкатке. При этом в стенках трубки создаются остаточные пластические, а в трубной решетке — упругие деформации, благодаря кото­рым материал трубной решетки после развальцовки плотно сжимает концы трубок. Для большей прочности соединения применяют развальцовку на конус или с канавками в отверсти­ях трубной решетки.

Приварка стальных трубок обеспечивает высокую прочность, соединения. Однако в случае выхода трубки из строя замена ее невозможна. Припайка трубок применяется в охлаждающих аппаратах, изготовляемых из меди и латуни. Сальниковое креп­ление трубок служит и компенсатором температурных удлине­ний, однако такое соединение сложно в изготовлении и увели­чивает расстояние между трубками, что приводит к увеличению диаметра аппарата.

3.1.3 Определение внутреннего диаметра корпуса аппарата

Диаметр окружности D`, на котором располагаются крайние трубки (рисунок 4), может быть определен по формуле:

 (32)

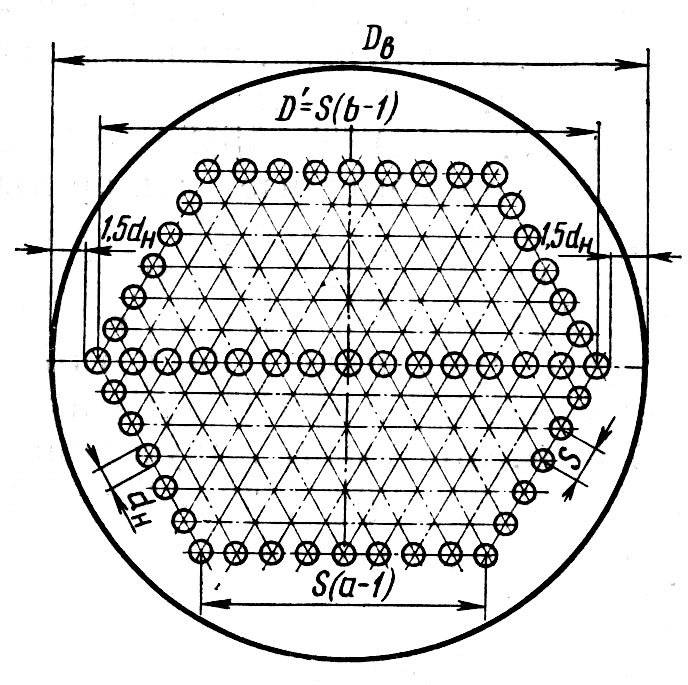


Рисунок 4 – Схема размещения трубок в решетке по сторонам правильных шестиугольников

Внутренний диаметр корпуса одноходового теплообменника принимается по формуле

 (33)

Полученный результат округляют до стандартного, выбранного из ГОСТ 8734 – 75, ГОСТ 8732 – 78.

3.1.4 Расчет трубчаток

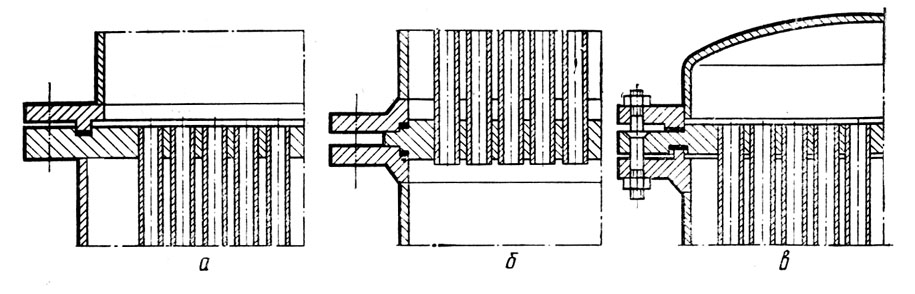
В целом расчет трубчаток состоит из расчетов толщины трубной решетки с учетом напряжений, возникающих вдоль оси трубок и корпуса, прочности крепления трубок в трубных решетках, а также прочности самих решеток.

С целью упрощения расчета, основываясь на многолетнем опыте расчета теплообменников, толщину трубчатки можно рассчитать по следующим формулам:

для стальных – , мм (34)

для медных – , мм (35)

Крепление трубных решеток осуществляется одним из способов, представленных на рисунке 5.



а – приварка к корпусу, б – зажатие между фланцами, в – прикрепление к фланцу кожуха болтами

Рисунок 5 – Крепление трубных решеток

3.1.5 Расчет размеров выпуклых днищ и крышек

В практике аппаратостроения встречаются следующие виды выпуклых днищ – выпуклые эллиптические, сферические отбортованные и неотбортованные, конические, тарельчатые крышки.

Основные виды показаны на рисунке 6.

При проектировании выпуклых днищ руководствуются следующими конструктивными требованиями

Высота h выпуклой части наружной поверхности не менее 0,2Dв.

Расстояние а от края отверстия до края днища (в проекции) не менее 0,1Dв.

Расстояние b от края отверстия до края другого отверстия (по проекции) при неукрепленных отверстиях – не меньше диаметра меньшего отверстия.

Расстояние от края отверстия до начала отбортовки лазового отверстия – не менее δ.

Лазовое отверстие должно быть расположено центрально

На переходной дуге ВС сверление отверстий не допускается. На цилиндрической части АВ допускается сверление единичных отверстий.

Высота Н цилиндрического борта днища выбирается в зависимости от толщины стенки δ согласно данным таблицы 5.

Таблица 5

|  |  |
| --- | --- |
| Толщина стенки, мм | Высота цилиндрического борта, мм |
| До 5 | 15 |
| От 5 до 10 | 2δ + 15 |
| От 10 до 20 | δ + 15 |
| Свыше 20 | 0,5δ + 25 |

Толщина цилиндрического борта днища δ должна соответствовать расчетной толщине стенки цилиндрического корпуса аппарата. При этом обточенный борт должен составлять не менее 0,9 толщины днища.

Днища рассматриваются как глухие в следующих случаях:

а) когда днища не имеют вырезов и отверстий;

б) когда наибольший размер неукрепленных вырезов не превышает 4δ при условии, что расстояние между краем выреза и краем днища (в проекции) составляет менее 0,2Dн;

в) когда наибольший размер полностью укрепленных вырезов не превышает 8δ и расстояние между краем выреза и краем днища (в проекции) превышает 0,2Dн;

г) когда наибольший размер полностью укрепленных вырезов не превышает 6δ и расстояние между краем выреза и краем днища (в проекции) превышает 0,1Dн.

10. Отштампованные борты лазового отверстия укреплением не считаются.

Формулы для расчета днищ следующие:

Эллиптическое днище аппарата общего назначения

 (36)

Эллиптическое днище аппаратов пищевых производств

 (37)

Сферическое днище

 (38)

где p – внутреннее избыточное давление, МПа;

Dн – наружный диаметр корпуса аппарата, м;

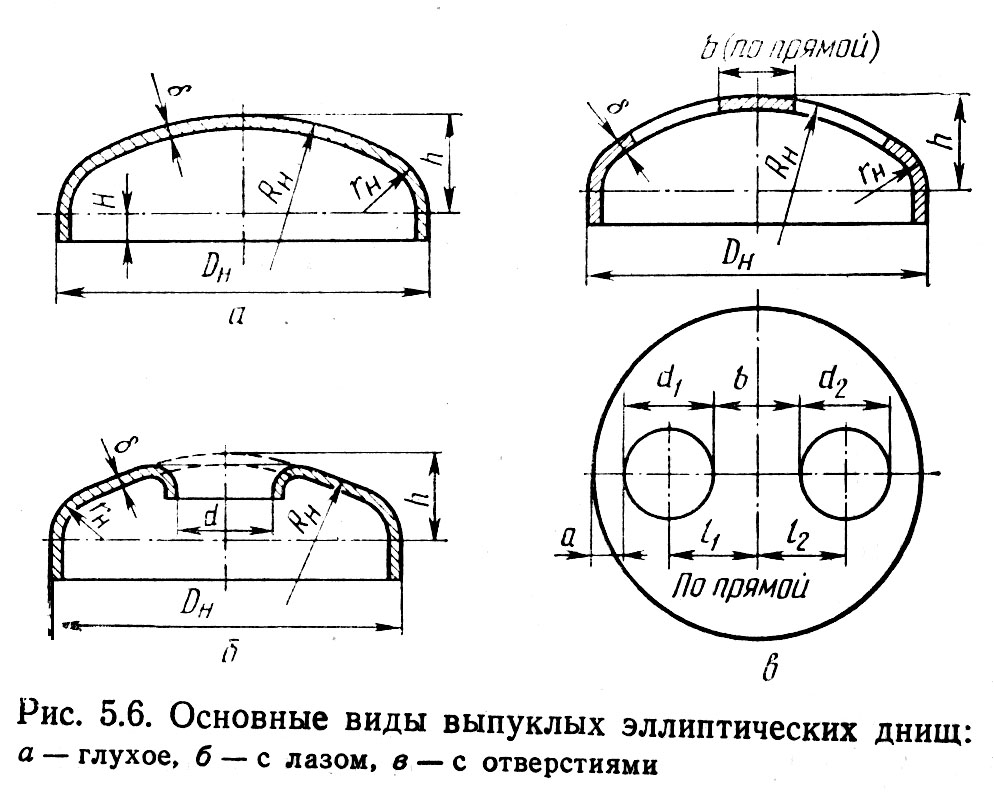
Dв – внутренний диаметр корпуса аппарата, м;

К – фактор формы днища;

[σ] – допускаемое напряжение на растяжение, МПа;

φ – коэффициент прочности сварного шва;

С – прибавка на коррозию (0,002…0,005).



а – глухое, б – с лазом, в – с отверстиями

Рисунок 6 – Основные виды выпуклых эллиптических днищ

3.1.6 Расчет разъемных прочно-плотных соединений

Прочно-плотное соединение – соединение, состоящее из двух фланцев и зажатой между ними прокладки (рисунок 7). Фланцы соединяют при помощи болтов, шпилек, гаек, шайб и т.п. Все фланцевые соединения по конструкции, материалам и способу закрепления стандартизированы (ГОСТ 12815-80, ОСТ 242426-79 и ОСТ 26-427-79). Однако в отдельных случаях возможны разработка и конструирование специальных фланцевых соединений.

Прокладки фланцевого соединения стандартизированы и делятся на неметаллические, металлические и полуметаллические, а также на плоские, гофрированные, круглые, овальные, граненые и специального профиля.

Прокладки в теплообменниках бывают однократного и многократного приме­нения. Примером прокладок однократного применения являются ме­таллические прокладки, прокладки из асбестов, паронита и других ма­териалов, не обладающих достаточной упругостью.

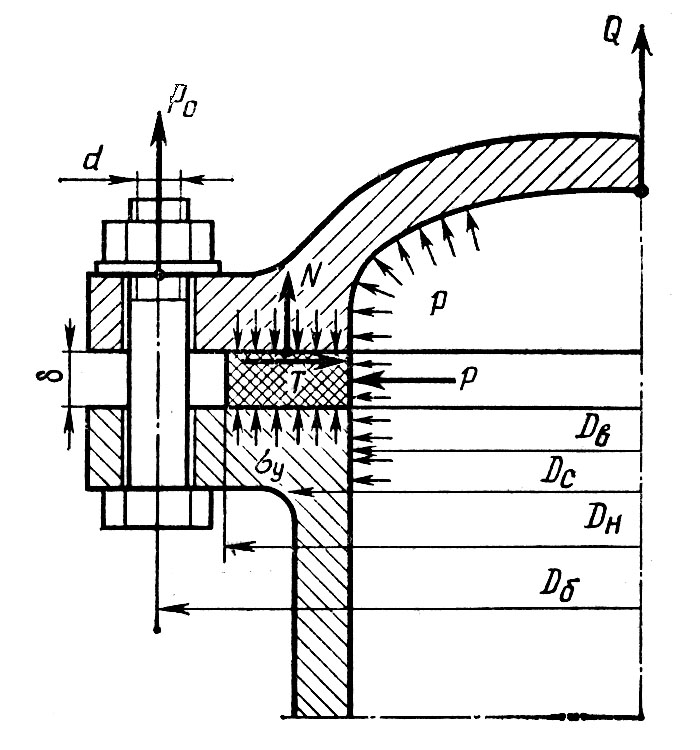


Рисунок 7 – Прочно-плотное соединение

Резиновые прокладки можно применять многократно, поскольку они в довольно широких пределах могут восстанавливать свою перво­начальную форму после снятия нагрузки. Для изготовления резино­вых прокладок применяют различные каучуки.

В зависимости от внутреннего диаметра аппарата можно ориентировочно выбрать плоские прокладки из таблицы 6.

Таблица 6 – Ориентировочные размеры прокладок, мм

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Внутренний диаметр аппарата | Неметаллические | | Металлические | |
| толщина | ширина | толщина | Ширина |
| До 100  100…200  200…400  400…600  свыше 600 | 1…1,5  1…1,5  1,5…2,0  1,5…2,0  2…3 | 12…15  15…25  25…35  35…45  45…50 | 1…2  2…3  3…4  4…5  5…6 | 10…12  12…13  13…14  14…15  15 |

**3.2 Расчет для пластинчатого подогревателя**

Порядок расчета следующий:

3.2.1 Определение необходимой площади поперечного сечения пакета по заданным расходам рабочих сред и выбранным скоростям их движения в каналах:

, (39)

где V – объемный расход рабочей среды, м3/с

W – скорость рабочей среды, м/с

Расчет числа параллельных каналов в пакете для каждой среды

, (40)

где f1 – площадь поперечного сечения одного межпластинного канала, м2. Полученное значение округляют до целого.

Определение числа пластин в пакете по соотношению

nп = 2m (41)

В крайних пакетах соприкасающихся с плитами, общее число пластин на одну больше (концевую)

n` = 2m+1 (42)

Вычисление площади поверхности теплообмена одного пакета

Fп = fnп (43)

где f – площадь поверхности одной пластины, м2

Определение числа пакетов (ходов) в теплообменном аппарате

, (44)

Если величина X получается дробно, то её округляют до целого числа и корректируют площадь поверхности всего аппарата F.

 (45)

Нахождение общего числа пластин в аппарате

 (46)

3.2.7 Записывают формулу компоновки

 (47)

где m1 – число каналов в пакете греющей среды;

1,…, к – число последовательно включенных пакетов (ходов) в аппарате для грею­щей среды;

m2 – число каналов в пакете для нагреваемой среды;

1, ..., р – число последовательно включенных пакетов в аппарате для нагреваемой среды.

**3.3 Определение диаметров патрубков**

Диаметр патрубков определяют из общей формулы объемного расхода для потока данной среды:

 (48)

где  – скорость движения среды, м/с (для пара принимают 20…40, для жидкостей 0,5…1,5);

М – массовый расход вещества, проходящего через расчетный диаметр Dп, кг/с.

По полученному внутреннему диаметру для изготовления патрубков выбирают трубные заготовки по ГОСТ 8734–75, ГОСТ 8732–78.

В аппаратах для химического производства штуцера снабжены фланцами, а в аппаратах для пищевого производства – резьбой.

**4 Гидравлический расчет**

Основной задачей гидравлического расчета является определение мощности, затрачиваемой на перемещение рабочей среды через аппарат. И, соответственно, подбор насоса. В пищевой промышленности в основном используют центробежные насосы.

Мощность на валу насоса рассчитывают по формуле

 (49)

где G – массовый расход рабочей среды, кг/с;

 – гидравлическое сопротивление аппарата, Па;

 – плотность рабочей среды, кг/м3;

η – КПД насоса.

Гидравлическое сопротивление определяется следующим образом

 (50)

где  – потери давления на преодоление сопротивления трения в тракте аппарата

 – потери давления на преодоление местных сопротивлений.

Потери давления на сопротивление определяются следующим образом:

 (51)

где λ – коэффициент трения единицы относительной длины участка канала;

υ – скорость рабочей среды в канале, м/с;

l – длина канала, м;

dэ – эквивалентный диаметр канала, м.

При ламинарном движении (Re<2300) шероховатость не влияет на коэффициент трения

 (52)

где А – коэффициент, зависящий от формы сечения трубопровода (таблица 7).

При турбулентном режиме, но при значениях Re<10000 коэффициент рассчитывают по формуле

 (53)

При значениях Re >10000 коэффициент рассчитывают так

 (54)

где ε=K/d – относительная шероховатость;

К – абсолютная средняя шероховатость поверхности трубы, мм (таблица 8).

Таблица 7 – Значение гидравлического эквивалентного диаметра и коэффициента в зависимости от формы поперечного сечения канала

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Форма сечения канала | Эквивалентный диаметр | А | Примечания |
| Круг  Кольцо  Квадрат  Прямоугольник  b>>a  b/a=10  b/a=4  b/a=2  Межтрубное пространство (движение параллельно оси трубок) | d  dн-dв  a  2ab/(a+b)  2a  1.8a  1.6a  1.3a  (D2-nd2)/(D+nd) | 64  96  57  96  85  73  62  - | d – Диаметр круга  dн – Наружный диаметр  dв – Внутренний диаметр  а – Сторона квадрата  а – Высота прямоугольника  b – Ширина прямоугольника  D – Внутренний диаметр кожуха  d – Наружный диаметр трубок  n – Число трубок |

Потери давления на преодоление местных сопротивлений рассчитывают так:

 (55)

где ξ – коэффициент местных сопротивлений (таблица 9).

Таблица 8 – Значения абсолютных шероховатостей

|  |  |
| --- | --- |
| Условия выбора | К |
| Стальные трубы новые  Стальные трубы б/у, с незначительной коррозией  Стальные и чугунные трубы старые  Чугунные и керамические трубы новые  Трубы алюминиевые гладкие  Трубы из латуни, меди и стеклянные цельнотянутые чистые  Для насыщенного пара  Для пара, работающего периодически  Для конденсата, работающие периодически  Воздухопроводы от компрессоров | 0,06-0,1  0,1-0,2  0,5-2  0,35-1  0,015-0,06  0,0015-0,01  0,2  0,5  1,0  0,8 |

Таблица 9 – Коэффициенты местных сопротивлений

|  |  |
| --- | --- |
| Условия выбора | ξ |
| Вентиль проходной при полном открытии d=50 мм  То же при d=400 мм  Вентиль Косва | 4,6  7,6  2,5 |
| Задвижка нормальная  Кран проходной  Угольник 900  Колено гладкое 900, R=d  То же, R=4d  Входная или выходная камера (удар и поворот)  Поворот на 1800 из одной секции в другую через промежуточную камеру  То же, через колено в секционных подогревателях  Вход в межтрубное пространство под углом 900 к рабочему потоку  Поворот на 1800 в U-образной трубке  Переход из одной секции в другую (межтрубный поток)  Переход на 1800 через перегородку в межтрубном пространстве  Огибание перегородок, поддерживающих трубы  Выход из межтрубного пространства под углом 900 | 0,5-1,0  0,6-2,0  1,0-2,0  0,3  1,0  1,5  2,5  2,0  1,5  0,5  2,5  1,5  0,5  1,0 |

Полученный результат позволяет определить давление, которое необходимо создать на входе для покачивания теплоносителей, и, соответственно, определить мощность и подобрать насос и электродвигатель.

Вспомогательные материалы для расчетов изложены в методических рекомендациях:

1. **Соловых, С. Ю.** Расчет теплообменника [Текст] : метод. указания к выполнению курсовых работ по курсу "Процессы и аппараты пищевых пр-в" / С. Ю. Соловых, С. В. Антимонов, В. П. Ханин; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т", Каф. машин и аппаратов хим. и пищевых пр-в. - Оренбург : ГОУ ОГУ, 2007. - 56 с. - Библиогр.: с. 36. - Прил.: с. 37.Издание на др. носителе [Электронный ресурс]

# Методические указания по промежуточной аттестации по дисциплине

При подготовке к промежуточной аттестации студент должен повторно изучить конспекты лекций и основные разделы из рекомендованной литературы, просмотреть решения основных задач, решенных самостоятельно и в процессе работы на лабораторных занятиях. Рекомендуется составить краткие письменные ответы на все вопросы, вынесенные на промежуточную аттестацию, либо составить план ответа по предлагаемым вопросам из ФОС.