

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«БРАТСКИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫЙ КОЛЛЕДЖ»
(ФГБПОУ «БЦБК»)

Специальность 35.02.04
Технология комплексной переработки древесины

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ***

*по дисциплине
«Процессы и аппараты»*

Братск 2024

Составила (разработала) Юдинцева Г.Н., преподаватель кафедры химико-механических дисциплин

Методическое пособие выполнено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Процессы и аппараты» для специальности 35.02.04 «Технология комплексной переработки древесины» и включает методические указания по выполнению практических работ.

Рассмотрено на заседании кафедры химико-механических дисциплин

« _____ » _____ 20__ г. _____

Одобрено и утверждено редакционным советом

« _____ » _____ 20__ г. № _____

Содержание

Введение	4
1 Практическая работа №1	6
2 Практическая работа №2	11
3 Практическая работа №3	15
4 Практическая работа №4	20
5 Практическая работа №5	25
6 Практическая работа №6	29
7 Практическая работа №7	33
Заключение	36
Список использованных источников	37
Приложение А	39

Введение

Учебная дисциплина «Процессы и аппараты» является частью основной профессиональной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО 35.02.04 Технология комплексной переработки древесины.

В структуре основной профессиональной образовательной программы данная дисциплина является общепрофессиональной дисциплиной профессионального цикла.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен:

уметь:

- определять основные параметры процессов и аппаратов;
- составлять и рассчитывать материальный и тепловой балансы отдельных процессов и аппаратов;

- пользоваться справочной, нормативно-технической документацией при выполнении расчетов и выборе аппаратов;

знать:

- классификацию и теоретические основы процессов;
- устройство и принцип действия аппаратов;
- методику расчета материального и теплового балансов процессов и аппаратов;

- принципы расчета и выбора аппаратов для проведения заданных процессов.

Профессиональные и общие компетенции, которыми должен овладеть учащийся представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Профессиональные и общие компетенции

Шифр	Содержание
1	2
ПК 1.1	Управлять технологическими процессами получения волокнистых полуфабрикатов, бумаги и картона, древесно-волокнистых (древесно-стружечных) плит, лесохимической продукции по стадиям производства.
ПК 1.2	Обеспечивать бесперебойную и безопасную эксплуатацию оборудования.
ПК 1.3	Контролировать качество сырья, полуфабрикатов, химикатов, материалов, готовой продукции комплексной переработки древесины.
ПК 2.1	Участвовать в планировании работы структурного подразделения.
ПК 2.2	Участвовать в руководстве работой структурного подразделения.
ПК 2.3	Анализировать процессы и результаты деятельности подразделения.
ОК 1	Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.
ОК 2	Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.
ОК 3	Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.
ОК 4	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

Продолжение таблицы 1

1	2
ОК 6	Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.
ОК 7	Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.
ОК 8	Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.
ОК 9	Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

Дисциплина «Процессы и аппараты» рассчитана на 20 часов теоретического обучения и 10 часов практического обучения.

Целью практического обучения является приобретение навыков и умений расчетов процессов и аппаратов. Выполнение расчетных практических заданий помогает глубже изучить теоретический материал и подготовиться к сдаче экзамена.

1 Практическая работа №1

Тема: Определение физических свойств жидкостей и гидростатического давления на дно и стенки сосудов

Цели: закрепить и углубить полученные знания гидростатики; научиться определять основные физические свойства жидкостей расчетным путём и по таблицам; научиться определять давление на дно и стенки сосудов; развивать навыки работы со справочной литературой.

Методические указания

Жидкости характеризуются следующими основными физическими свойствами: плотностью (и удельным весом), вязкостью, поверхностным натяжением и сжимаемостью.

Масса жидкости, заключенная в единице её объёма, называется плотностью и определяется по формуле

$$\rho = m : V, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;
 m – масса жидкости, кг;
 V – объём жидкости, м³.

Если плотность жидкости 950 кг/м³ это значит, что 950 кг жидкости вместит 1 м³.

Удельным весом называется вес единицы объёма жидкости. Удельный вес связан с плотностью следующим соотношением

$$\gamma = \rho \cdot g, \quad (2)$$

где γ – удельный вес жидкости, Н/м³;
 g – ускорение силы тяжести, м/с².

Плотность капельных жидкостей незначительно увеличивается с повышением давления и обычно несколько уменьшается с возрастанием температуры.

Плотность волокнистой суспензии определяется по формуле

$$\rho = 1 / (a : \rho_{т.ф.} + (1 - a) : \rho_{ж.ф.}), \quad (3)$$

где a – массовая доля твердой фазы;
 $1 - a$ – массовая доля жидкости;
 $\rho_{т.ф.}$ – плотность твердой фазы, кг/м³;
 $\rho_{ж.ф.}$ – плотности жидкой фазы, кг/м³.

Плотность газов значительно изменяется в зависимости от температуры и давления. Зависимость между температурой, давлением и объёмом газов определяется уравнением состояния (уравнение Менделеева - Клапейрона)

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T : M, \quad (4)$$

где P – давление, Н/м^2 ;
 V – объём газа, м^3 ;
 m – масса газа, кг;
 R – универсальная газовая постоянная, $8314 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{град})$;
 T – температура, $^{\circ}\text{К}$;
 M – молекулярная масса газа.

Из формулы (3) следует, что

$$\rho = P \cdot M : R \cdot T, \quad (5)$$

При движении реальной жидкости в ней возникают силы внутреннего трения, оказывающие сопротивление движению. Свойство жидкости оказывать сопротивление движению называется вязкостью. Динамический коэффициент вязкости обозначается μ и имеет размерность $(\text{Н} \cdot \text{с})/\text{м}^2$.

Вязкость капельных жидкостей с повышением температуры уменьшается, вязкость газов увеличивается. Изменение вязкости в зависимости от давления незначительно.

Работа, необходимая для образования единицы новой поверхности жидкости при постоянной температуре, носит название поверхностного натяжения и обозначается σ . Поверхностное натяжение имеет размерность Н/м .

Поверхностное натяжение жидкостей с повышением температуры уменьшается.

Сжимаемостью жидкости называют свойство жидкости изменять свою плотность при изменении давления и (или) температуры. С увеличением температуры жидкости расширяются.

Жидкость оказывает давление на поверхность погруженного в неё тела, а также на дно и стенки сосуда, в котором она заключена.

Давление жидкости на единицу поверхности называется гидростатическим давлением и представляет собой отношение

$$p = F : S, \quad (6)$$

где p – давление жидкости, Н/м^2 ;
 F – сила давления жидкости на поверхность, Н ;
 S – площадь поверхности, м^2 .

Если жидкость налита в сосуд, то сила давления, действующая на его дно, равна весу жидкости в сосуде

$$F = S \cdot h \cdot \rho \cdot g , \quad (7)$$

где h – высота столба жидкости, м.

Размерность давления в системе СИ – $[Н/м^2]$. Соотношение между единицами давления в различных системах единиц следующее: $1 \text{ ат} = 10^5 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ бар} = 735 \text{ мм.рт.ст.} = 1 \text{ кгс/см}^2$.

Полная сила избыточного давления жидкости на плоскую вертикальную стенку равна произведению площади стенки на величину избыточного гидростатического давления в центре тяжести стенки

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot b , \quad (8)$$

где b – ширина стенки, м.

Сила давления на дно цилиндрической ёмкости можно определить по формуле

$$F = \rho \cdot g \cdot h \cdot \pi d^2 : 4 , \quad (9)$$

где d – диаметр, м.

Сила давления на цилиндрическую стенку можно определить по формуле

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot d , \quad (10)$$

Ход работы

1. Решение задач.

Задача 1.

В цилиндрический бак диаметром d м налито m т нефти с плотностью ρ $кг/м^3$ (таблица 2). Определить глубину заполнения бака и давление на дно и стенку ёмкости.

Таблица 2 – Исходные данные

№ варианта	Диаметр бака d	Масса нефти m	Плотность ρ
	м	т	кг/м ³
1	4	48	820
2	5	40	810
3	6	50	800
4	6	42	825
5	4	44	800
6	5	38	850
7	3	35	820
8	4	52	800
9	6	46	810
10	5	52	815

Задача 2.

Масса бревна m кг, его объём V м³ (таблица 3). Будет ли плавать бревно?

Таблица 3 – Исходные данные

№ варианта	Масса бревна m	Объём бревна V
	кг	м ³
1	130	0,2
2	100	0,19
3	120	0,1
4	150	0,25
5	140	0,23
6	125	0,21
7	130	0,18
8	115	0,22
9	110	0,15
10	90	0,12

Задача 3.

Вместит ли ёмкость в 1 литр один килограмм воды, мазута $\rho = 960 \text{ кг/м}^3$, черного сульфатного щелока $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$. Ответ обоснуйте.

2. Выполнить индивидуальное задание.

Контрольные вопросы

1. Какая жидкость называется идеальной?
2. Какая жидкость называется реальной?
3. Какими основными физическими свойствами характеризуются жидкости?

4. Дайте понятия «плотность», «удельный вес», «вязкость», «поверхностное натяжение», «сжимаемость». Единицы измерения данных физических свойств.

5. Что такое относительная плотность?

6. Какие жидкости называются неньютоновскими?

7. Что такое гидростатическое давление? Его размерность в системе СИ.

8. Прочитайте основное уравнение гидростатики. Его математическое выражение.

9. В чем заключается гидростатический парадокс?

2 Практическая работа №2

Тема: Определение расхода, скорости движения, диаметра трубопровода.
Подбор диаметра по ГОСТ

Цели: закрепить и углубить полученные знания гидродинамики; научиться определять расход и скорость движения жидкости, диаметр трубопровода; развивать навыки работы со справочной литературой.

Методические указания

Производственное потребление жидкости в технологических процессах связано с транспортировкой её по различным системам трубопроводов и каналов. Законы движения жидкости изучает раздел гидравлики – гидродинамика.

Движение массы жидкости между ограничивающими поверхностями называется потоком жидкости. Поток жидкости состоит из совокупности элементарных струек. Различают напорные и безнапорные потоки.

Безнапорный поток – это поток, имеющий свободную поверхность (река, канал).

Напорный поток – это поток, не имеющий свободной поверхности (трубопровод).

Различают установившееся и неустановившееся движение жидкости.

Движение жидкости, при котором скорость и давление во всех точках занятого жидкостью пространства не изменяются с течением времени, называется установившееся. Если скорость и давление изменяются – неустановившееся.

Живым сечением потока называется поверхность в пределах потока, нормальная к направлению движения жидкости. Основными характеристиками живого сечения являются площадь живого сечения S , m^2 , смоченный периметр Π , m , гидравлический радиус R , m , эквивалентный диаметр $d_{эКВ}$, m .

Смоченный периметр – это линия, по которой живое сечение потока соприкасается со стенками русла

Гидравлический радиус – это отношение площади живого сечения потока к смоченному периметру.

Гидравлический радиус определяется по формуле

$$R = S : \Pi, \quad (11)$$

где R – гидравлический радиус, m ;
 S – площадь живого сечения, m^2 ;
 Π – смоченный периметр, m .

При движении жидкости в трубах или каналах некруглого сечения вместо диаметра подставляют величину эквивалентного диаметра

$$d_{эКВ} = 4 \cdot R = 4 \cdot S : \Pi \quad (12)$$

где $d_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр, м.

Так, эквивалентный диаметр кольцевого канала определяется по формуле

$$d_{\text{экв}} = D_{\text{вн}} - d_{\text{н}}, \quad (13)$$

где $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр наружной трубы, м;

$d_{\text{н}}$ – наружный диаметр внутренней трубы, м.

Количество жидкости, протекающее в единицу времени через живое сечение, называется расходом. Различают массовый расход G , кг/с и объёмный расход V , м³/с.

Средняя скорость потока – это скорость, с которой должны были бы двигаться все частицы жидкости через данное живое сечение, чтобы сохранился расход; численно равна отношению расхода через данное сечение на площадь этого сечения. Соответственно различают массовую скорость W , кг/(м²·с) и объёмную (линейную) скорость, w , м/с. Расходы и скорости связаны следующим образом

$$G = S \cdot W, \quad (14)$$

$$V = S \cdot w, \quad (15)$$

$$V = G : \rho, \quad (16)$$

$$w = W : \rho. \quad (17)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³.

В условиях установившегося движения жидкости в элементарной струйке происходит без образования пустот и разрывов, поэтому можно сделать вывод, что расход элементарной струйки по всей длине остаётся постоянным, то есть, при установившемся движении расходы жидкости во всех живых сечениях потока одинаковы и есть величина постоянная – уравнение неразрывности потока:

$$V = S_1 \cdot w_1 = S_2 \cdot w_2 = \text{const}, \quad (18)$$

$$G = S_1 \cdot W_1 = S_2 \cdot W_2 = \text{const}, \quad (19)$$

$$G = S_1 \cdot w_1 \cdot \rho = S_2 \cdot w_2 \cdot \rho = \text{const}, \quad (20)$$

где S_1 и S_2 – площади сечений, м²;

w_1 и w_2 (W_1 и W_2) – скорости в соответствующих сечениях, м/с.

Следствие, средние скорости потока обратно пропорциональны площадям соответствующих сечений; средние скорости потока находятся в обратной квадратичной зависимости от площадей соответствующих сечений

$$w_1 : w_2 = S_2 : S_1 = d_2^2 : d_1^2, \quad (21)$$

где d_1 и d_2 – диаметры соответствующих сечений, м.

Отсюда можно определить скорость потока в том или ином сечении, а также диаметр сечения

$$w_1 = S_2 \cdot w_2 : S_1 = d_2^2 \cdot w_2 : d_1^2, \quad (22)$$

$$d_1 = \sqrt{d_2^2 \cdot w_2 / w_1^2}. \quad (23)$$

Диаметр трубопровода d , м определяется по формулам

$$d = \sqrt{4V : \pi w}, \quad (24)$$

$$d = \sqrt{4G : \pi W}. \quad (25)$$

Ход работы

1. Решение задач.

Задача 1.

Какой расход воды будет в трубопроводе диаметром 500 мм, если скорость воды 1,5 м/с? Как изменится скорость воды, если притом же расходе поставить трубу диаметром 400 мм?

Задача 2.

Найти диаметр трубопровода для воды, поступающей в отбельный цех в количестве 800 м³/ч. Скорость принять.

Задача 3.

Определить объёмный расход волокнистой суспензии с концентрацией 1,5% в массопроводе диаметром 400 мм. Скорость принять.

2. Выполнить индивидуальное задание.

Контрольные вопросы

1. Что называется потоком жидкости? Какие потоки различают? Дайте им определения.
2. Какие виды движения жидкости различают? Дайте им определения.
3. Что называется живым сечением потока?

4. Перечислите основные характеристики живого сечения. Дайте им определения. Размерность основных характеристик живого сечения.
5. Дайте понятия «расход» и «средняя скорость».
6. Какие виды расхода и скорости различают? Их размерность.
7. Прочитайте уравнение неразрывности потока. Его математическое выражение.
8. Следствия из уравнения неразрывности потока.

3 Практическая работа №3

Тема: Определение основных параметров работы насосов, подбор насосов по каталогам и ГОСТ

Цели: закрепить и углубить полученные знания основных параметров насосов; научиться определять производительность, напор, мощность и КПД насосов; развивать навыки работы со справочной литературой.

Методические указания

Насосы – гидравлические машины, превращающие механическую энергию, получаемую от электродвигателя, в потенциальную энергию давления жидкости. Насосы предназначены для перемещения жидкостей и жидких неоднородных систем по трубопроводу, поднятия на высоту, для сообщения потенциальной энергии давления (напора).

В зависимости от способа преобразования энергии различают следующие группы насосов: объемные, лопастные, вихревые, струйные и пневматические.

Работа любого насоса характеризуется производительностью (подачей), напором, мощностью и коэффициентом полезного действия.

Производительность определяется объемом жидкости, подаваемой насосом в единицу времени в нагнетательный трубопровод. Производительность определяется по формуле

$$V = v : \tau, \quad (26)$$

где V – производительность насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;
 v – объем перекачиваемой жидкости, м^3 ;
 τ – время, с.

Теоретическая производительность поршневого (или плунжерного) насоса простого действия V_T^1 определяется по формуле

$$V_T^1 = F \cdot S \cdot n : 60, \quad (27)$$

где F – площадь сечения поршня, м^2 , $F = \pi \cdot D^2 : 4$;
 D – диаметр поршня, м;
 S – длина хода поршня, м, $S = 2r$;
 r – радиус кривошипа, м;
 n – число оборотов вала, об / мин.

Теоретическая производительность поршневого (или плунжерного) насоса двойного действия V_T^2 определяется по формуле

$$V_T^2 = (2F - f) \cdot S \cdot n : 60, \quad (28)$$

где f – площадь сечения штока, м^2 , $f = \pi \cdot d^2 : 4$;

d – диаметр штока, м.

Фактическая производительность V_{ϕ} поршневого насоса всегда меньше теоретической из-за утечек через неплотности в клапанах, поршне, сальниках и крышках

$$V_{\phi} = \eta_0 \cdot V_{\tau}, \quad (29)$$

где η_0 – объемный коэффициент полезного действия.

Для поршневых насосов, перекачивающих холодную воду, $\eta_0 = 0,9$ (средний); при перекачивании очень вязких жидкостей объемный КПД значительно снижается ($\eta_0 = 0,3$ и менее).

Полный напор – характеризует удельную энергию, сообщаемую 1 кг перекачиваемой жидкости. Напор затрачивается на подъем жидкости на высоту, преодоление сопротивлений и разности давлений в напорном и приемном резервуаре. Полный напор, развиваемый насосом, определяется по формуле

$$H = H_{\Gamma} + (p_2 - p_1) : \rho \cdot g + h_{\Pi}, \quad (30)$$

где H – полный напор, м;

H_{Γ} – геометрическая высота подъема жидкости, м, $H_{\Gamma} = H_{\text{вс}} + H_{\text{н}}$;

$H_{\text{вс}}$ – высота всасывания, м;

$H_{\text{н}}$ – высота нагнетания, м;

p_2 и p_1 – давление в пространстве нагнетания и всасывания, Н/м^2 ,
($1 \text{ ат} = 10^5 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ бар} = 735 \text{ мм.рт.ст.} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10000 \text{ мм.вод.ст.}$);

ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ;

h_{Π} – потери напора, м, $h_{\Pi} = h_{\text{вс}} + h_{\text{н}}$;

$h_{\text{вс}}$ – потери напора во всасывающем трубопроводе, м;

$h_{\text{н}}$ – потери напора в нагнетательном трубопроводе, м;

g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Также напор насоса можно определить по формуле

$$H = (p_{\text{м}} + p_{\text{в}}) : g \cdot \rho + h_{\text{пр}}, \quad (31)$$

где $p_{\text{м}}$ – избыточное давление по манометру, Н/м^2 ;

$p_{\text{в}}$ – показания вакуумметра на всасывающей патрубке, Н/м^2 ;

$h_{\text{пр}}$ – расстояние между манометром и вакуумметром, м.

Полезная мощность насоса – это энергия, которую приобретает жидкость в единицу времени при прохождении через насос. Полезная мощность определяется по формуле

$$N_{\text{п}} = V \cdot g \cdot \rho \cdot H, \quad (32)$$

где $N_{\text{п}}$ – полезная мощность насоса, Вт (или кВт).

Потребляемая мощность N – это мощность на валу насоса; больше полезной мощности на величину потерь энергии в насосе.

Отношение полезной мощности насоса к потребляемой называется полным коэффициентом полезного действия (КПД) насоса

$$\eta = N_{\text{п}} : N, \quad (33)$$

где N – потребляемая мощность, Вт (или кВт);

η – полный коэффициент полезного действия.

Отсюда потребляемая насосом мощность составляет

$$N = N_{\text{п}} : \eta = V \cdot g \cdot \rho \cdot H : \eta, \quad (34)$$

или

$$N = N_{\text{п}} : \eta = V \cdot g \cdot \rho \cdot H : 1000\eta, \quad (35)$$

Полный КПД является важной характеристикой насоса, определяющей экономичность его работы и совершенство конструкции. Полный КПД представляет собой произведение объемного КПД (η_0), учитывающий утечки жидкости через зазоры и сальники насоса, гидравлического КПД ($\eta_{\text{г}}$), учитывающего уменьшение напора вследствие гидравлических сопротивлений, и механического КПД ($\eta_{\text{мех}}$), учитывающего потери на трение в насосе

$$\eta = \eta_0 \cdot \eta_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{мех}}. \quad (36)$$

Величина η зависит от конструкции и состояния насоса и для средних условий колеблется в следующих пределах: η поршневых насосов 0,7 – 0,9, η центробежных насосов 0,6 – 0,8. КПД наиболее совершенных крупных насосов достигает 0,93 – 0,95.

При изменения числа оборотов колеса от n_1 до n_2 не более, чем в 2 раза, для центробежных насосов справедливы соотношения, которые носят название законов пропорциональности.

Изменение производительности насоса пропорционально числу оборотов

$$V_1 : V_2 = n_1 : n_2. \quad (37)$$

Изменение напора насоса пропорционально квадратам чисел оборотов

$$H_1 / H_2 = (n_1 : n_2)^2. \quad (38)$$

Изменение потребляемой мощности насоса пропорционально кубам чисел оборотов

$$N_1 : N_2 = (n_1 : n_2)^3. \quad (39)$$

Отсюда

$$V_2 = V_1 \cdot n_2 : n_1, \quad (40)$$

$$H_2 = H_1 \cdot n_2^2 : n_1^2, \quad (41)$$

$$N_2 = N_1 \cdot n_2^3 : n_1^3. \quad (42)$$

Ход работы

1. Решение задач.

Задача 1.

Определить число оборотов вала поршневого насоса двойного действия, имеющего диаметр поршня $D = 160$ мм, диаметр штока $d = 50$ мм, длину хода поршня $S = 200$ мм. производительность насоса $V = 25$ м³/ч. Объемный КПД $\eta_0 = 0,9$.

Задача 2.

Поршневой насос двойного действия наполняет бак диаметром $d_6 = 3$ м и высотой $h_6 = 2,6$ м за 26 минут ($\tau = 26$ мин). Диаметр плунжера насоса $D = 180$ мм, диаметр штока $d = 50$ мм, радиус кривошипа $r = 145$ мм, число оборотов $n = 55$ об/мин. Определить коэффициент полезного действия насоса.

Задача 3.

Манометр на нагнетательном трубопроводе насоса, перекачивающего $V = 8,4$ м³/мин воды, показывает давление $p_m = 3,8$ кгс/см², вакуумметр на всасывающем трубопроводе показывает вакуум $p_{вс} = 21$ см.рт. ст. Расстояние по вертикали между точками присоединения манометра и вакуумметра $h_{пр} = 410$ мм. Определить напор, развиваемый насосом, и потребляемую мощность, если полный КПД насоса $\eta = 0,7$.

Задача 4.

Насос перекачивает жидкость в количестве $V = 320$ л/мин с плотностью $\rho = 960$ кг/м³ из резервуара с атмосферным давлением $p_1 = 1$ ат в аппарат с избыточным давлением $p_{изб} = 3,7$ ат. Высота подъема жидкости $H_r = 16$ м, общее сопротивление всасывающей и нагнетательной линии $h_{п} = h_{вс} + h_{н} = 65,6$ м. Определить полный напор, полезную и потребляемую мощность насоса, если полный КПД насоса $\eta = 0,7$.

Задача 5.

Центробежный насос для перекачки воды имеет следующие паспортные данные: производительность $V = 56 \text{ м}^3/\text{ч}$, полный напор $H = 42\text{м}$, потребляемую мощность $N = 10,9 \text{ кВт}$ при числе оборотов $n_1 = 1140 \text{ об/мин}$. Определить полный КПД насоса, его производительность, развиваемый напор и потребляемую мощность при $n_2 = 1450 \text{ об/мин}$, считая, что КПД остается неизменным.

Задача 6.

Определить мощность, потребляемую центробежным насосом, при подаче окисленного щелока плотностью $\rho = 1150 \text{ кг/м}^3$ в бак-сборник перед выпаркой. Производительность насоса $V = 5000 \text{ л/мин}$ при напоре $H = 15 \text{ м.вод.ст.}$ Коэффициент полезного действия принять.

2. Выполнить индивидуальное задание.

Контрольные вопросы

1. Что такое насос? Классификация насосов.
2. Чем характеризуется работа насосов? Дайте определения. Размерность.
3. Прочитайте законы пропорциональности для центробежных насосов.

4 Практическая работа №4

Тема: Определение тепловых нагрузок и расхода теплоносителей

Цели: закрепить и углубить полученные знания общей характеристики тепловых процессов, способов и видов передачи тепла, движущей силы процесса теплообмена, уравнения теплового баланса, тепловой нагрузки; научиться определять тепловую нагрузку и расход теплоносителя; развивать навыки работы со справочной литературой.

Методические указания

Процесс передачи тепла от одного вещества к другому называется теплообменным. Теплообменные процессы подчиняются законам теплопередачи – учение о теплообмене. Вещества, участвующие в процессе теплообмена, называются теплоносителями. Вещество с более высокой температурой, которое в процессе теплообмена отдает тепло, называется горячим теплоносителем, а вещество с более низкой температурой, воспринимающее тепло, – холодным теплоносителем.

Существуют два основных способа проведения тепловых процессов: путем непосредственного соприкосновения теплоносителей и передачей тепла через стенку, разделяющую теплоносители.

Различают установившийся (стационарный) теплообменный процесс, соответствующий непрерывной работе аппаратов, и не установившийся (нестационарный) теплообменный процесс, соответствующий периодической работе аппаратов. При установившемся процессе температуры в каждой точке аппарата не изменяются во времени, тогда как при не установившемся процессе температуры изменяются во времени.

Передача тепла от одного тела к другому может происходить посредством теплопроводности, конвекции и лучеиспускания.

Движущей силой любого теплообменного процесса является разность температур теплоносителей, называемая температурным напором.

Количество тепла, передаваемого в единицу времени от одного тела к другому, называется тепловым потоком и выражается в Вт. Значения теплового потока, выраженные в ккал/ч, для перевода в Вт надо умножить на коэффициент 1,16.

При теплообмене происходит уменьшение энтальпии (теплосодержание) $(J_1 - J_2)$ Дж/кг горячего теплоносителя G кг/с и увеличение энтальпии $(j_2 - j_1)$ Дж/кг холодного теплоносителя g кг/с.

Количество тепла, передаваемого от горячего теплоносителя к холодному, называется тепловой нагрузкой аппарата и составляет Q Вт. Следовательно,

$$Q_{\text{гор.}} = G \cdot (J_1 - J_2), \quad (43)$$

$$Q_{\text{хол.}} = g \cdot (j_2 - j_1). \quad (44)$$

Тепло, отданное горячим теплоносителем, частично передается холодному теплоносителю и частично расходуется на компенсацию потерь в окружающую среду $Q_{\text{п}}$ Вт.

Таким образом,

$$Q_{\text{гор.}} = Q_{\text{хол.}} + Q_{\text{п.}} \quad (45)$$

В теплообменных аппаратах потери тепла обычно невелики (не более 2 – 3% от $Q_{\text{гор.}}$)

$$Q_{\text{гор.}} = 1,03 \cdot Q_{\text{хол.}} \quad (46)$$

Если ими пренебречь, то уравнение теплового баланса примет вид

$$Q = Q_{\text{гор.}} = Q_{\text{хол.}}, \quad (47)$$

или

$$Q = G \cdot (J_1 - J_2) = g \cdot (j_2 - j_1). \quad (48)$$

Определение тепловой нагрузки при нагревании и охлаждении без изменения агрегатного состояния.

Если в аппарате происходит охлаждение горячего теплоносителя, тогда

$$Q_{\text{гор.}} = G \cdot C \cdot (T_1 - T_2) = G \cdot C \cdot \Delta T, \quad (49)$$

где C – удельная теплоемкость горячего теплоносителя, Дж/(кг·град);

T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры горячего теплоносителя соответственно ($\Delta T = T_1 - T_2$), $^{\circ}\text{C}$.

Аналогично при нагревании холодного теплоносителя

$$Q_{\text{хол.}} = g \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = g \cdot c \cdot \Delta t, \quad (50)$$

где c – удельная теплоемкость холодного теплоносителя, Дж/(кг·град);

t_1 и t_2 – начальная и конечная температуры холодного теплоносителя соответственно ($\Delta t = t_2 - t_1$), $^{\circ}\text{C}$.

Величины $\Delta T = T_1 - T_2$ и $\Delta t = t_2 - t_1$ называются температурными перепадами.

Удельная теплоемкость – это количество тепла, сообщаемое единице вещества (1 кг, 1 м³, 1 кмоль) для изменения его температуры на 1⁰С. Согласно Международной системе единиц СИ, удельные теплоемкости выражаются в Дж/кг·град. В справочных таблицах значения удельных теплоемкостей веществ обычно приводятся в ккал/ кг·град. Для перевода этих значений в Дж/кг·град их надо умножить на коэффициент 4190. Значения удельных теплоемкостей

веществ определяются при средних температурах, либо при температуре, которая дана.

Определение тепловой нагрузки при изменении агрегатного состояния.

При конденсации парообразного теплоносителя величины J_1 и J_2 в формуле (43) представляют собой соответственно энтальпию поступающего пара и уходящего конденсата. Если пар поступает перегретым с температурой T_1 , то величина $G \cdot J_1$ складывается из энтальпии жидкости при температуре насыщения T_n , тепла, расходуемого на испарение жидкости и равного теплу конденсации пара $Q_{\text{конд}}$, а также тепла $Q_{\text{пер}}$, необходимого для перегрев пара. Величина J_2 равна $C_{\text{ж}} \cdot T_2$ (T_2 – температура уходящего конденсата). Тогда формула (43) после ряда преобразований принимает вид

$$Q_{\text{гор}} = G \cdot (J_1 - J_2) = Q_{\text{пер.}} + Q_{\text{конд.}} + Q_{\text{охл.}} \quad (51)$$

Тепло, отдаваемое при охлаждении перегретого пара, равно теплу, затраченному на перегрев при его получении, и составляет

$$Q_{\text{пер.}} = G \cdot C_{\text{п}} \cdot (T_1 - T_n), \quad (52)$$

где $C_{\text{п}}$ – удельная теплоемкость пара, Дж/(кг·град).

Тепло, отдаваемое при конденсации пара, равно теплу, расходуемому на испарение жидкости

$$Q_{\text{конд.}} = G \cdot r, \quad (53)$$

где r – теплота испарения (удельная теплота парообразования), Дж/кг.

Тепло, отдаваемое при охлаждении конденсата, составляет

$$Q_{\text{охл.}} = G \cdot C_{\text{ж}} \cdot (T_n - T_2). \quad (54)$$

При конденсации насыщенного пара без охлаждения конденсата

$$Q_{\text{гор.}} = Q_{\text{конд.}} = G \cdot r. \quad (55)$$

Из уравнения теплового баланса можно определить температурные перепады, а также начальные и конечные температуры теплоносителей

$$\Delta t = G \cdot C \cdot \Delta T : g \cdot c; \quad (56)$$

$$\Delta T = g \cdot c \cdot \Delta t : G \cdot C; \quad (57)$$

$$t_2 = Q_{\text{гор.}} : g \cdot c + t_1; \quad (58)$$

$$t_1 = t_2 - Q_{\text{гор.}} : g \cdot c; \quad (59)$$

$$T_2 = T_1 - Q_{\text{хол.}} / G \cdot C; \quad (60)$$

$$T_1 = Q_{\text{хол.}} / G \cdot C + T_2. \quad (61)$$

Ход работы

1. Решение задач.

Задача 1.

В холодильнике требуется охладить раствор в количестве $G = 10000$ кг/ч от 90°C до 40°C . Определить тепловую нагрузку, если удельная теплоемкость раствора $C = 3350$ Дж/(кг·град).

Задача 2.

Определить расход пара для нагрева $g = 18$ т/ч воздуха от 20°C до 80°C . Давление греющего пара $P = 3$ атм.

Задача 3.

Определить тепловую нагрузку и расход пара в подогревателе черного щелока в количестве $g = 48000$ кг/ч. Начальная температура щелока $t_1 = 140^{\circ}\text{C}$, конечная – $t_2 = 145^{\circ}\text{C}$, удельная теплоемкость $c = 3820$ Дж/(кг·град). Давление греющего пара $P = 10$ атм. Потери тепла принять 3%.

Задача 4.

Определить величину теплового потока и конечную температуру нагреваемой воды в водо-водяном теплообменнике.

Таблица 1 – Исходные данные

№ варианта	G , кг/с	T_1 , $^{\circ}\text{C}$	T_2 , $^{\circ}\text{C}$	g , кг/с	t_1 , $^{\circ}\text{C}$
1	4	120	50	10	6
2	6	125	55	15	8
3	8	130	57	20	10
4	10	135	60	25	12
5	12	140	62	30	14
6	14	132	50	15	4

8	6	138	40	10	8
9	10	125	55	30	6

10 12 14 62 25 10
0

Задача 5.

Определить тепловую нагрузку и расход пара для нагрева воздуха.

Таблица 2 – Исходные данные

№ вариант	g, кг/с	t ₁ , °C	t ₂ , °C	P _{пар} , МПа
1	1,1	0	55	0,4 (142,9 °C)
2	2	-5	60	0,5 (151,1 °C)

- 2 0,6
10 (1
58,
1
°C
)

- 5 0,7
15 (1
64,
2
°C
)

- 0 0,8
20 (1
69,
6
°C)

)

5,5-5 5 0,7
(1
64,
2
°C
)

7	2,5	10	-	60	$0,6$ (158,1 °C)
---	-----	----	---	----	---------------------

3,5- 2 0,5
15 (1
51,
1
°C
)

9	1,5	20	-	65	$0,4$ (142,9 °C)
---	-----	----	---	----	---------------------

0 4,5 0 5 0,6
(1
58,
1
°C
)

2. Выполнить индивидуальное задание.

Контрольные вопросы

1. Какие процессы называются тепловыми? Каким законам они подчиняются?
2. Как называются вещества, участвующие в теплообмене?
3. Назовите основные способы проведения тепловых процессов.
4. Какие теплообменные процессы различают? Дайте им характеристику.
5. Назовите виды передачи тепла. Дайте им характеристику.
6. Что является движущей силой теплообменных процессов?
7. Дайте понятия «тепловой поток», «тепловая нагрузка аппарата». Их размерность.

8. Сколько составляют тепловые потери в теплообменных аппаратах?
9. Математическое выражение теплового баланса.
10. Как изменяются энтальпии теплоносителей в процессе теплообмена?
11. Что называется удельной теплоемкостью?
12. Как определяется тепловая нагрузка при нагревании и охлаждении без изменения агрегатного состояния теплоносителей?
13. Как определяется тепловая нагрузка при нагревании и охлаждении с изменением агрегатного состояния теплоносителей?

5 Практическая работа №5

Тема: *Определение коэффициента теплоотдачи между жидкостью и стенкой при различных режимах*

Цели: – закрепить и углубить полученные знания конвекции; физического смысла коэффициента теплоотдачи, основных факторов, определяющих величину коэффициента теплоотдачи, критериев подобия при передаче тепла конвекцией;
– научиться определять коэффициент теплоотдачи между жидкостью и стенкой при различных режимах;
– развивать навыки работы со справочной литературой.

Методические указания

Передача тепла **конвекцией** происходит только в жидкостях и газах путем перемещения их частиц (потоков). Перемещение частиц обусловлено движением всей массы жидкости или газа (*вынужденная или принудительная конвекция*), либо разностью плотностей жидкости в разных точках объема, вызываемой неравномерным распределением температуры в массе жидкости или газа (*свободная, или естественная, конвекция*). Конвекция всегда сопровождается передачей тепла посредством теплопроводности (через стенку).

Перенос тепла за счет конвекции и теплопроводности от движущегося теплоносителя к стенке или наоборот называется **теплоотдачей**. Согласно **закону Ньютона**, количество передаваемого конвекцией тепла пропорционально поверхности стенки и разности температур между теплоносителем t_t и стенкой $t_{ст}$ (частному температурному напору):

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \Theta_{\text{част}}, \quad (62)$$

где Q – количество передаваемого конвекцией тепла, Вт;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

F – поверхность стенки, м²;

Θ – частный температурный напор, $\Theta = t_t - t_{ст}$, °С.

Коэффициент теплоотдачи показывает, *какое количество тепла передается от теплоносителя с стенке поверхностью 1 м² за 1 с при разности температур между теплоносителем и стенкой в 1°С.*

Ориентировочные значения коэффициентов теплоотдачи для типичных процессов теплообмена приведены ниже:

- нагревание и охлаждение газов (атмосферное давление) 10 – 50 Вт/(м²·К);
- нагревание и охлаждение органических жидкостей 50 – 1500 Вт/(м²·К);

- нагревание и охлаждение воды 200 – 10000 Вт/(м² ·К);
- кипение воды 500 – 10000 Вт/(м² ·К);
- конденсация водяных паров 4000 – 15000 Вт/(м² ·К);
- конденсация паров органических жидкостей 500 – 2000 Вт/(м² ·К);

Основными факторами, определяющими величину коэффициента теплоотдачи, являются следующими:

1. *гидродинамические факторы* – характер движения теплоносителя (ламинарный или турбулентный); с увеличением скорости теплоносителя коэффициент теплоотдачи увеличивается;
2. *физические факторы* – физические свойства теплоносителя (вязкость, теплопроводность, плотность, удельная теплоемкость); коэффициент теплоотдачи, как правило, увеличивается с понижением вязкости и повышении теплопроводности, плотности и удельной теплоемкости, следовательно, коэффициент теплоотдачи зависит от температуры;
3. *геометрический факторы* – размеры и форма поверхности теплообмена.

Зависимость коэффициента теплоотдачи от этих факторов весьма сложна, поэтому для его определения прибегают к экспериментам, а опытные данные обрабатывают при помощи теории подобия, в результате чего получают критериальные уравнения, выражающие зависимость между критериями подобия.

Коэффициенты теплоотдачи определяются из **критерия Нуссельта Nu** , характеризующий процесс теплообмена между теплоносителем и стенкой:

$$Nu = \alpha \cdot L / \lambda; \quad (63)$$

$$Nu = \alpha \cdot d_{\text{экв}} / \lambda, \quad (64)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м² ·К;

λ – коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/(м · град);

L – определяющий геометрический размер, м;

$d_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр (при движении теплоносителя вне труб), м;

$$d_{\text{экв}} = 4S/\Pi, \quad (65)$$

где S – площадь поперечного сечения потока, м²;

Π – смоченный периметр, м.

Для определения критерия Нуссельта необходимо вычислить значения *определяющих* критериев – **критерия Рейнольдса Re** , характеризующего гидродинамический режим движения теплоносителя, и **критерия Прандтля Pr** , характеризующего физические свойства теплоносителя:

$$Re = \omega_{cp} \cdot L \cdot \rho / \mu; \quad (66)$$

$$Pr = \mu \cdot c / \lambda, \quad (67)$$

где μ – вязкость теплоносителя, $H \cdot c/m^2$.

ω_{cp} – средняя линейная скорость теплоносителя, м/с;

c – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·град).

Критерии Re , Pr и Gr являются *определяющими*, обуславливающими тепловое подобие. Критерий Nu представляет собой *определяемый критерий*, зависящий от определяемых критериев $Nu = f(Re, Pr, Gr)$.

Движение теплоносителя по трубам и каналам.

Для устойчивого турбулентного режима движения жидкостей внутри труб ($Re > 10000$) рекомендуется следующее критериальное уравнение:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}, \quad (68)$$

Если движение в трубе (канале) носит характер переходного режима, то есть $Re = 2300 - 10000$, то критерий Нуссельта определяется по формуле:

$$Nu = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43}. \quad (69)$$

Определяющим геометрическим размером служит внутренний диаметр трубы d_v или эквивалентный диаметр канала $d_{эКВ}$. Определяющей температурой является температура теплоносителя t_r .

Движение теплоносителя вне труб.

При движении теплоносителя в кольцевом канале между двумя трубами (внутренний диаметр наружной трубы $D_{вн}$, наружный диаметр внутренней трубы d_n) коэффициент теплоотдачи для теплообмена с поверхностью внутренней трубы определяется по уравнению:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot (D_{вн} / d_n)^{0,45}. \quad (70)$$

При движении в межтрубном пространстве кожухотрубных теплообменников в отсутствие поперечных перегородок:

$$Nu = 1,16 \cdot (d_{эКВ} \cdot Re)^{0,6} \cdot Pr^{0,33}, \quad (71)$$

где $d_{эКВ}$ – эквивалентный диаметр межтрубного пространства (для кольцевого канала $d_{эКВ} = D_{вн} - d_n$), м.

Если теплоноситель перемещается в межтрубном пространстве (при наличии перегородок), то критерий Нуссельта определяется по формуле:

$$Nu = 0,2 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,33}. \quad (72)$$

Определяющим геометрическим размером является наружный диаметр трубы d_n , а определяющей температурой – t_t .

Ход работы

1. Решение задач.

Задача 1.

Определить количество тепла, передаваемое конвекцией от горячей воды с температурой $t_b = 80^{\circ}\text{C}$ к внутренней стенке трубы с диаметром $d_{\text{вн}} = 33\text{мм}$ и температурой $t_{\text{ст}} = 20^{\circ}\text{C}$. Средняя скорость воды $\omega = 1,5\text{м/с}$; длина трубы $L = 10\text{м}$.

Задача 2.

Определить коэффициент теплоотдачи при движении воды по трубе с внутренним диаметром $d_{\text{вн}} = 21\text{мм}$, если линейная скорость воды $\omega = 0,5\text{м/с}$; средняя температура составляет $t_b = 28,5^{\circ}\text{C}$.

Задача 3.

Определить коэффициент теплоотдачи при движении воздуха в межтрубном пространстве кожухотрубного теплообменника без поперечных перегородок. Внутренний диаметр кожуха $D = 600\text{мм}$; наружный диаметр труб $d_n = 38\text{мм}$; количество труб $n = 121$. массовая скорость воздуха $W = 36,1\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$, средняя температура $t = 185^{\circ}\text{C}$.

2. Выполнить индивидуальное задание.

Контрольные вопросы

1. Какой вид передачи тепла называется конвекцией? Виды конвекции.
2. Что называется теплоотдачей?
3. Прочитайте закон Ньютона. Его математическое выражение.
4. Физический смысл коэффициента теплоотдачи. Его размерность.
5. Факторы, влияющие на коэффициент теплоотдачи.
6. Физический смысл критериев теплового подобия.

6 Практическая работа №6

Тема: *Расчет теплообменной аппаратуры: коэффициента теплопередачи, поверхности теплообмена, среднего температурного напора. Подбор по каталогу*

Цели: – Закрепить и углубить полученные знания о способах нагревания и охлаждения, об устройстве теплообменных аппаратов, о сравнении и выборе теплообменных аппаратов;
– научиться производить расчет теплообменников: коэффициента теплопередачи, поверхности теплообмена, среднего температурного напора, тепловой нагрузки и расхода нагревающих или охлаждающих агентов;
– развивать навыки работы со справочной литературой.

Методические указания

Определение тепловой нагрузки и расхода нагревающих или охлаждающих агентов.

Для определения расхода нагревающих или охлаждающих агентов пользуются уравнением теплового баланса:

$$Q = Q_{\text{гор.}} = Q_{\text{хол.}}, \quad (72)$$

где Q – тепловая нагрузка аппарата, Вт;

$Q_{\text{гор.}}$ – количество тепла, отданного нагревающим агентом, Вт;

$Q_{\text{хол.}}$ – количество тепла, сообщенное охлаждающему агенту, Вт.

Если в аппарате происходит охлаждение горячего теплоносителя, тогда

$$Q_{\text{гор.}} = G \cdot C \cdot (T_1 - T_2) = G \cdot C \cdot \Delta T, \quad (73)$$

где G – расход горячего теплоносителя, кг/с;

C – удельная теплоемкость горячего теплоносителя, Дж/(кг·град);

T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры горячего теплоносителя соответственно ($\Delta T = T_1 - T_2$), °С.

Аналогично при нагревании холодного теплоносителя:

$$Q_{\text{хол.}} = g \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = g \cdot c \cdot \Delta t, \quad (74)$$

где g – расход холодного теплоносителя, кг/с.

c – удельная теплоемкость холодного теплоносителя, Дж/(кг·град);

t_1 и t_2 – начальная и конечная температуры холодного теплоносителя соответственно ($\Delta t = t_2 - t_1$), °С.

Если нагревающим агентом является пар, то тепловая нагрузка расход пара определяются из уравнения:

$$Q_{\text{гор.}} = Q_{\text{конд.}} = G \cdot r, \quad (75)$$

где G – расход пара, кг/с;

r – удельная теплота парообразования, Дж/кг.

Определение среднего температурного напора и средних температур теплоносителей.

Если теплоносители движутся противотоком или прямотоком, то средний температурный напор определяют по формуле:

$$\Theta_{\text{cp}} = (\Theta_{\text{max}} - \Theta_{\text{min}}) / 2,3 \lg \Theta_{\text{max}} / \Theta_{\text{min}}, \quad (76)$$

где Θ_{max} – максимальный температурный напор, $^{\circ}\text{C}$;

Θ_{min} – минимальный температурный напор, $^{\circ}\text{C}$.

Если отношение $\Theta_{\text{max}} / \Theta_{\text{min}} < 2$, то с достаточной точностью можно пользоваться среднеарифметическим значением:

$$\Theta_{\text{cp}} = (\Theta_{\text{max}} + \Theta_{\text{min}}) / 2. \quad (77)$$

Определение коэффициента теплопередачи.

Коэффициент теплопередачи K , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{град}$), является количественной расчетной величиной и зависит от коэффициентов, термического сопротивления стенки и загрязнений.

Для плоской стенки:

$$K = 1 / [1/\alpha_1 + \Sigma(\delta/\lambda) + 1/\alpha_2], \quad (78)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от горячей среды, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{град}$);

α_2 – коэффициент теплоотдачи к холодной среде, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{град}$);

δ – толщина теплопередающей стенки аппарата, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/($\text{м} \cdot \text{град}$).

$\Sigma(\delta/\lambda)$ – тепловое сопротивление стенки, учитывающее тепловое сопротивление загрязнений, ($\text{м}^2 \cdot \text{град}$)/Вт.

Определение сечений для прохода теплоносителей.

Диаметр и количество труб (или сечений каналов) необходимо выбрать так, чтобы теплоносители двигались с требуемыми скоростями. Для этого соответствующее сечение для прохода теплоносителя (в м^2) должно удовлетворять условию:

$$S = G / W, \quad (79)$$

где G – расход теплоносителя, кг/с;

W – массовая скорость теплоносителя, кг/(м² · с).

Сечение для прохода теплоносителей связаны с конструктивными размерами аппарата.

В трубчатых теплообменниках площадь поперечного сечения трубного пространства составляет (в м²):

$$S_{\text{тр.}} = \pi d_{\text{в}}^2 \cdot n_1 / 4 = (\pi d_{\text{вн}}^2 / 4) \cdot (n/z), \quad (80)$$

где $d_{\text{в}}$ – внутренний диаметр трубы, м;

n_1 – число труб в одном ходе ($n_1 = n/z$) или число параллельных секций (для теплообменников «труба в трубе») шт.;

n – общее число труб в аппарате, шт.;

z – число ходов.

Площадь поперечного сечения межтрубного пространства (в м²) определяется, в зависимости от его устройства.

В межтрубном пространстве без перегородок:

$$S_{\text{мтр.}} = \pi(D^2 - nd_{\text{н}}^2)/4, \quad (81)$$

где D – внутренний диаметр кожуха, м;

$d_{\text{н}}$ – наружный диаметр труб, м.

В межтрубном пространстве, разделенном продольными перегородками на N ходов:

$$S_{\text{мтр.}} = \pi(D^2 - nd_{\text{н}}^2)/(4N). \quad (82)$$

Определение поверхности теплообмена и основных размеров теплообменника.

Необходимую поверхность теплообмена определяют из уравнения:

$$F = Q / (K \cdot \Theta_{\text{ср.}}), \quad (83)$$

где Q – тепловая нагрузка аппарата, Вт;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · град);

$\Theta_{\text{ср.}}$ – средний температурный напор, °С.

Поверхность теплообмена связана с конструктивными размерами аппарата; так для трубчатых теплообменников величина поверхности теплообмена составляет:

$$F = \pi \cdot d \cdot l \cdot n, \quad (84)$$

где F – поверхность теплообмена, м^2 ;
 d – диаметр труб, м ;
 l – длина труб, м ;
 n – количество труб.

При пользовании этим соотношением поверхность теплообмена подсчитывается по внутреннему, наружному или среднему диаметру труб.

При расчете трубчатых теплообменников обычно задаются диаметром труб, затем определяют число труб, исходя из необходимых сечений для прохода теплоносителей и, наконец, находят требуемую длину труб.

Ход работы

1. Решение задач.

Задача 1.

Нитрозные газы в количестве $G = 22000$ кг/ч охлаждаются воздухом от температуры $T_1 = 800^\circ\text{C}$. Количество воздуха $g = 19000$ кг/ч , его начальная температура $t_1 = 20^\circ\text{C}$, конечная температура $t_2 = 350^\circ\text{C}$, удельная теплоемкость $c = 1030$ $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$. Определить тепловую нагрузку, конечную температуру газов и средний температурный напор при противотоке.

Задача 2.

Рассчитать одноходовой кожухотрубный теплообменник для подогрева воздуха нитрозными газами в условиях задачи 1, если абсолютное давление газов составляет 6,5 ат, а абсолютное давление воздуха равно 7 ат.

2. Выполнить индивидуальное задание.

Контрольные вопросы

1. Основное уравнение теплопередачи (формулировка, математическое выражение).
2. Физический смысл коэффициента теплопередачи. Его размерность.
3. Способы нагревания и охлаждения.
4. Классификация теплообменной аппаратуры.
5. Устройство теплообменных аппаратов.
6. Сравнение и выбор теплообменников.

7 Практическая работа №7

Тема: *Определение различных параметров воздуха на I – x диаграмме*

Цели: – закрепить и углубить полученные знания о теоретических основах сушки: способах сушки, связи влаги с материалом, свойствах влажного воздуха;

– научиться определять параметры влажного воздуха: влагосодержание, энтальпию, температуру мокрого термометра, температуру точки росы;

– развивать навыки работы со справочной литературой.

Методические указания

Графический расчет сушилок ведут при помощи **I – x диаграммы** влажного воздуха (рисунок 1), впервые предложенной Л. К. Рамзиным. Диаграмма построена для барометрического давления $P = 745$ мм рт. ст. (99,3 кПа), которое можно считать средним годовым давлением воздуха для центральных районов страны. На осях координат диаграммы отложены два основных параметра влажного воздуха: **влагосодержание x** (ось абсцисс) и **энтальпия I** (ось ординат). Угол между осями координат принят не прямым, как обычно, а тупым (135°); при этом влагосодержания x отложены в некотором масштабе на вспомогательной горизонтальной оси, на которую снесены значения x с наклонной оси абсцисс.

В соответствии с таким построением линии постоянного влагосодержания $x = \text{const}$ изображаются на диаграмме вертикальными прямыми, а линии постоянной энтальпии $I = \text{const}$ представляют собой наклонные прямые, параллельные оси абсцисс.

Кроме указанных линий на диаграмме нанесены:

- 1) линии постоянных температур;
- 2) линии постоянной относительной влажности;
- 3) линия парциального давления водяного пара;
- 4) линии постоянных температур мокрого термометра.

Линии $I = \text{const}$ изображаются на диаграмме наклонными прямыми, параллельными основной оси абсцисс. **Линии $t = \text{const}$** называются **изотермами**. Они имеют незначительный наклон к вспомогательной оси x, увеличивающийся по мере возрастания температуры.

Линии $\varphi = \text{const}$, представляющие собой пучок кривых, выходят из точки с координатами $x = 0, t = -273^\circ\text{C}$. При температуре $99,4^\circ\text{C}$ линии $\varphi = \text{const}$ имеют перелом, после которого идут почти вертикально вверх. Это объясняется тем, что при этой температуре давление насыщенного пара p_n становится равным барометрическому давлению p, при котором построена диаграмма.

Линия $\varphi = 100\%$, соответствующая максимальному насыщению воздуха парами воды, делит диаграмму на две части. Выше этой линии расположена **область ненасыщенного влажного воздуха**, которая является рабочей частью диаграммы и используется при расчете сушилок, а ниже – **область**

пересыщенного влагой воздуха. На диаграмме построена также линия изменения парциального давления водяного пара p_n в зависимости от влагосодержания влажного воздуха.

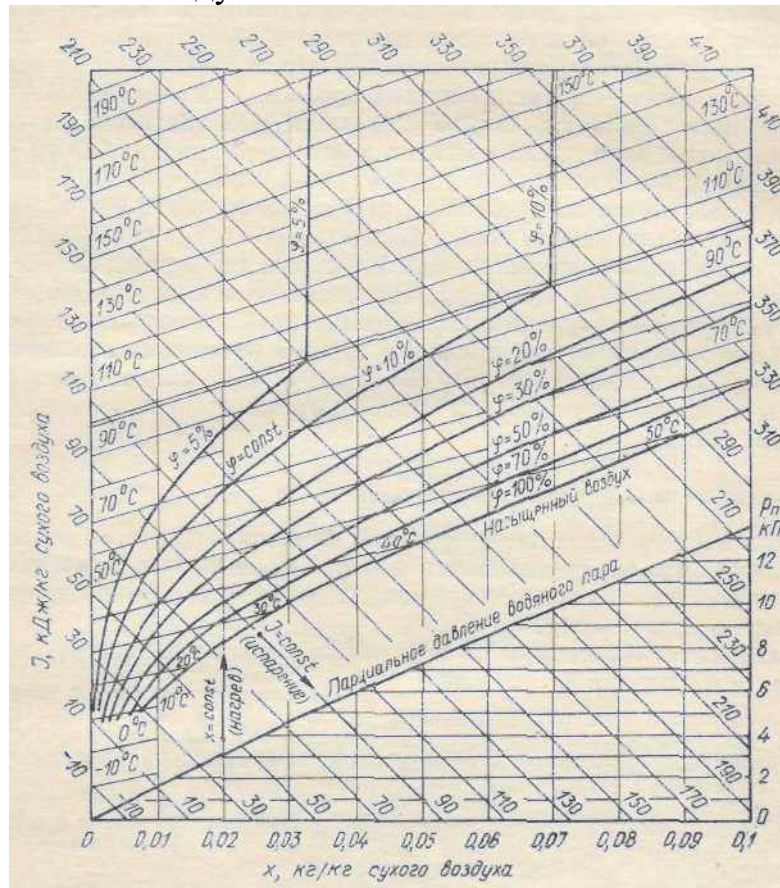


Рисунок 1 – Диаграмма I – x диаграмма

Таким образом, любая точка на диаграмме Л. К. Рамзина характеризует состояние влажного воздуха и позволяет определить все его параметры: I , x , t , φ , t_m , t_p , p_n . Положение точки на диаграмме находится по любым двум параметрам влажного воздуха. С достаточной точностью диаграмма I – x влажного воздуха применима в интервале барометрических давлений $p = (97...104)$ кПа, характерном для работы сушилок, и с незначительной погрешностью к влажным топочным газам.

Ход работы

1. Решение задач.

Задача 1.

Задано состояние воздуха: температура $t = 70^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $\varphi = 20\%$. Определить влагосодержание x , энтальпию I , температуру мокрого термометра t_m , температуру точки росы t_p .

Задача 2.

Задано состояние воздуха: температура $t = 50^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $\varphi = 30\%$. Определить влагосодержание x , энтальпию I , температуру мокрого термометра t_m , температуру точки росы t_p .

Задача 3.

Наружный воздух при температуре $t_0 = 15^{\circ}\text{C}$ и относительной влажностью $\varphi = 50\%$ нагревается в калорифере до температуры $t_1 = 56^{\circ}\text{C}$. Определить остальные параметры наружного и нагретого воздуха и рассчитать количество тепла на нагрев 1 кг воздуха.

2. Выполнить индивидуальное задание.

Контрольные вопросы

1. Способы сушки.
2. Теоретические основы сушки.
3. Виды связи влаги с материалом.
4. Свойства влажного воздуха.
5. $I - x$ диаграмма.

Заключение

В данном методическом пособии приведено содержание всех практических работ по курсу дисциплины «Процессы и аппараты» и таблицы физических констант веществ (Приложение А).

Практические работы предусматривают выполнение расчетов при решении задач и защиту выполненной работы. Защита проходит в виде выполнения индивидуальных заданий и устных ответов на контрольные вопросы.

Список использованных источников

1. Баранов, Д. А. Процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие для спо / Д. А. Баранов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 408 с. — ISBN 978-5-8114-8098-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/171841>.
2. Орлов, Ю. Н. Процессы и аппараты в химической технологии и биотехнологии: практикум: учебное пособие / Ю. Н. Орлов. — Тольятти: ТГУ, 2021. — 94 с. — ISBN 978-5-8259-1514-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/172629>.
3. Захаров, М. К. Процессы и аппараты химических технологий. Гидромеханические процессы, перемещение жидкостей, сжатие газов: учебное пособие / М. К. Захаров, Ю. А. Таран. — Москва: РТУ МИРЭА, 2021. — 91 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/176519>.
4. Захаров, М. К. Процессы и аппараты химических технологий. Гидравлика: учебное пособие / М. К. Захаров, Ю. А. Таран. — Москва: РТУ МИРЭА, 2020. — 90 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167574>.
5. Гужель, Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие / Ю. А. Гужель. — Благовещенск: АмГУ, 2019 — Часть 3: Массообменные процессы и аппараты — 2020. — 145 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/156569>.
6. Гужель, Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие / Ю. А. Гужель. — Благовещенск: АмГУ, 2019 — Часть 1: Гидромеханические процессы и аппараты — 2019. — 96 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/156568>.

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.twirpx.com/files/chidnustry/apparatus/>

Приложение А

Таблица А1 – Плотность жидких веществ и водных растворов

Вещество	Плотность, кг/м ³							
	при -20 ⁰ С	при 0 ⁰ С	при 20 ⁰ С	при 40 ⁰ С	при 60 ⁰ С	при 80 ⁰ С	при 100 ⁰ С	при 120 ⁰ С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Азотная кислота 100%-ная	1582	1547	1513	1478	1443	1408	1373	1338
50%-ная	-----	1334	1310	1287	1263	1238	1212	1186
Аммиак жидкий	665	639	610	580	545	510	462	390
Аммиачная вода 25%-ная	-----	918	907	897	887	876	866	856
Анилин	-----	1039	1022	1004	987	969	952	933
Ацетон	835	813	791	768	746	719	693	665
Бензол	-----	900	879	858	836	815	793	769
Бутиловый спирт	838	824	810	795	781	766	751	73
Вода	-----	1000	998	992	983	972	958	943
Гексан	693	677	660	641	622	602	581	559
Глицерин 50%-ный	-----	1136	1126	1116	1106	10006	996	986
Двуокись серы (жидк.)	1484	1434	1383	1327	1264	1193	1111	1010
Дихлорэтан	1310	1282	1254	1224	1194	1163	1133	1102
Изопропиловый спирт	817	801	785	768	752	735	718	700
Кальций хлористый (25%- ный раствор)	1248	1239	1220	1210	1200	1190	1180	
Метиловый спирт 100%-ный	828	810	792	774	756	736	714	
40%-ный	-----	946	935	924	913	902	891	880
Муравьиная кислота	-----	1244	1220	1195	1171	1147	1121	1096
Натр едкий, раствор 50%-ный		1540	1525	1511	1497	1483	1469	1454
40%-ный		1443	1430	1416	1403	1389	1375	1360
30%-ный		1340	1328	1316	1303	1289	1276	1261
20%-ный		1230	1219	1208	1196	1183	1170	1155
10%-ный	-----	1117	1109	1100	1089	1077	1064	1049
Натрий хлористый (20%-ный раствор)	-----	1157	1148	1139	1130	1120	1110	1100
Нитробензол	-----	1223	1203	1183	1163	1143	1123	1103
Октан	734	718	702	686	669	653	635	617
Олеум 20%-ный	-----	19222	1896	1870	1844	1818	1792	1766
Серная кислота 98%-ная	-----	1857	1837	1817	1798	1779	1761	1742
92%-ная	1866	1845	1824	1803	1803	1765	1744	1723
75%-ная	1709	1689	1669	1650	1650	1614	1597	1580
60%-ная	1532	1515	1498	1482	1482	1450	1434	1418

Продолжение таблицы А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сероуглерод	323	293	263	233	200	165	125	082
Соляная кислота (30%-ная)	173	161	149	138	126	115	103	090
Толуол	02	84	66	47	28	08	88	66
Уксусная кислота								
100%-ная	----	072	048	027	004	81	58	22
50%-ная	----	074	058	042	026	010	94	78
Фенол (расплавленный)	----	----	075	058	040	022	003	87
Хлорбензол	150	128	107	085	065	041	021	95
Хлороформ	563	526	489	450	411	380	326	280
Четыреххлористый углерод	670	633	594	556	517	471	434	390
Этилацетат	47	24	01	76	51	25	97	68
Этиловый спирт								
100%-ный	23	06	89	72	54	35	16	93
80%-ный	----	57	43	28	13	97	83	68
60%-ный	----	04	91	78	64	49	35	20
40%-ный	----	47	35	23	10	97	85	72
20%-ный	----	77	69	57	46	34	22	10
Этиловый спирт	58	36	14	89	66	40	11	76

Таблица А2 – Вязкость жидких веществ и водных растворов

Вещество	Температура, °С							
	При -20 °С	При 0 °С	При 20 °С	При 40 °С	При 60 °С	При 80 °С	При 100 °С	При 120 °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Азотная кислота 100%-ная	1,49	1,05	0,8	0,64	0,5	0,39	0,35	0,31
50%-ная	-----	3,05	1,88	1,28	0,9	0,68	0,53	0,44
Аммиак жидкий	0,258	0,244	0,226	0,208	0,19	-----	-----	-----
Аммиачная вода 25%-ная	-----	-----	1,3	0,855	0,6	0,42	0,32	0,23
Анилин	-----	10,2	4,4	2,3	1,5	1,1	0,8	0,59
Ацетон	0,5	0,395	0,322	0,268	0,23	0,2	0,17	0,15
Бензол	-----	0,91	0,65	0,492	0,39	0,316	0,261	0,129
Бутиловый спирт	10,3	5,19	2,95	1,78	1,14	0,76	0,54	0,38
Вода	-----	1,79	1,0	0,656	0,469	0,357	0,284	0,232
Гексан	0,479	0,397	0,32	0,264	0,221	0,19	0,158	0,132
Глицерин 50%-ный	-----	12	6,05	3,5	2	1,2	0,73	0,45
Двуокись серы (жидк.)	0,455	0,368	0,304	-----	-----	-----	-----	-----
Дихлорэтан	1,54	1,08	0,84	0,65	0,51	0,42	0,36	0,31
Изоприловый спирт	10,1	4,6	2,39	1,33	0,8	0,52	0,38	0,29
Кальций хлористый (25%-ный раствор)	10,6	4,47	2,74	1,85	-----	-----	-----	-----
Метиловый спирт 100%-ный	1,16	0,817	0,584	0,45	0,351	0,29	0,24	0,21
40%-ный	-----	3,65	1,84	-----	-----	-----	-----	-----
Муравьиная кислота	-----	-----	1,78	1,22	0,89	0,68	0,54	0,4
Натрий хлористый (20%-ный раствор)	-----	2,67	1,56	1,03	0,74	0,57	0,46	0,38
Нитробензол	-----	3,09	2,01	1,44	1,09	0,87	0,7	0,58