

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине
«Современные проблемы теплогазоснабжения населенных мест
и предприятий»
для студентов направления подготовки
08.04.01 «Строительство»
направленность (профиль) «Теплогазоснабжение населенных мест и пред-
приятий»

Содержание

1. ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ И ЕГО ОБЪЕМ
2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАССЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ
3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАССЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ И ПРИМЕРНЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЯ
4. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТУДЕНТА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ РАССЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ
5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Введение

Целью изучения дисциплины «Современные проблемы теплогазоснабжения населенных мест и предприятий» является формирование набора компетенций УК-1, ПК-1.

Задачей дисциплины является формирование у магистрантов знаний и навыков расчетов систем теплогазоснабжения в промышленности и коммунально-бытовом хозяйстве.

В методических указаниях по дисциплине «Современные проблемы теплогазоснабжения населенных мест и предприятий» приведены исходные данные и технологические характеристики тепловых процессов промышленного предприятия, что позволяет определить тепловые нагрузки по всем видам теплопотребления.

В разделах расчетно-графической работы приводятся методики и рекомендации по расчету и выбору основного теплотехнического оборудования систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения; выполнению гидравлического прочностного и теплового расчета трубопроводов теплотрассы.

Приведенный в приложениях справочный материал представляет интерес, как для студентов, так и для инженерно-технических работников, занятых в сфере передачи, распределения и потребления тепловой энергии.

Методические указания выполнены в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Современные проблемы теплогазоснабжения населенных

мест и предприятий» для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство» и определяют единый подход к подготовке студентами расчетно-графических работ, обязательные требования к их содержанию и оформлению. Указания не исключают, а ориентируют на разработку частных методик по выполнению расчетных работ, нацеливают на стимулирование самостоятельной работы студентов с целью повышения уровня накопленных знаний и получения навыков научных исследований.

По своей структуре методические указания включают в себя положения, имеющие обязательный и рекомендательный характер.

1. ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ И ЕГО ОБЪЕМ

1.1 Задание к расчетно-графической работе

Контрольная работа на тему: «Расчет абонентского ввода промышленного предприятия»

В расчетно-графической работе решаются вопросы по расчету и выбору оборудования теплового пункта промышленного предприятия, а также по расчету проектного участка теплотрассы.

Источником тепловой энергии промышленного предприятия является пар, поступающий из отбора турбин ТЭЦ по теплотрассе заданной протяженности.

Система потребления тепла на предприятии закрытая, возврат конденсата к источнику тепла составляет 100%.

Потребителями тепловой энергии на предприятии являются технологические теплоиспользующие аппараты, а также санитарно-технические системы отопления вентиляции и горячего водоснабжения.

1.1.1. Произвести выбор водоструйного элеватора для системы радиаторного отопления.

1.1.2. Определить тепловую нагрузку системы принудительной вентиляции и подобрать калорифер, обеспечивающий её покрытие.

1.1.3. Определить тепловую нагрузку системы горячего водоснабжения и подобрать ёмкостной водонагреватель, обеспечивающий её покрытие.

1.1.4. Выполнить тепловой расчет редукционно-охладительной установки (РОУ) и определить суммарный расход сетевого пара на абонентском вводе предприятия.

1.1.5. Определить температуру конденсата, возвращаемого на ТЭЦ.

1.1.6. Произвести механический, гидравлический и тепловой расчет теплотрассы.

Тепловая схема предприятия представлена на рисунке 1.

Исходные данные для расчёта принять из таблицы 1 по предпоследней и последней цифре шифра зачетной книжки студента.

Таблица 1 – Основные характеристики теплопотребления объекта

Предпоследняя цифра шифра	$t_{н.о.}^p$, °C	$t_{н.в.}^p$, °C	$V_{в}$, тыс. м ³	Последняя цифра шифра	$G_{г.в.}$, т/ч	$Q_{от.}$, кВт	L , м	m , л/ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	– 31	– 19	10	1	4,0	550	300	4,0
2	– 23	– 8	30	2	8,0	950	750	3,0
3	– 19	– 5	15	3	6,5	650	350	5,0
4	– 25	– 14	35	4	8,5	590	700	2,0
5	– 22	– 9	25	5	5,5	880	400	3,5
6	– 20	– 7	18	6	4,5	750	650	4,5
7	– 28	– 16	28	7	6,0	980	450	3,0
8	– 35	– 20	38	8	6,8	1000	600	2,5
9	– 27	– 18	20	9	5,0	1100	550	5,0
0	– 30	– 16	32	0	7,0	1200	500	3,0

где $t_{н.о.}^p$, $t_{н.в.}^p$, °C – расчетные температуры наружного воздуха соответственно на отопление и вентиляцию;

$V_{в}$, тыс. м³ – объем вентилируемых помещений;

m , 1/ч – кратность воздухообмена;

$G_{г.в.}$, тыс. м³ – расход горячей хозяйственной воды;

$Q_{от.}$, кВт – тепловая нагрузка системы отопления;

L , м – протяженность теплотрассы.

1.2. Дополнительные данные для всех вариантов

1. Способ прокладки теплотрассы – подземная, в непроходном канале.

2. Вид теплоизоляционного материала – цилиндры полые минераловатные на фенольной связке, для которых $S_{из} = 0,087$ Вт/м·К.

3. Теплофизические характеристики воздуха:

– расчетная температура воздуха в помещении: $t_{в}^p = +18^{\circ}\text{C}$;

– средняя удельная теплоемкость в рабочем интервале температур:

$$C_{воз.} = 1,005 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К};$$

– средняя плотность воздуха в рабочем интервале температур:

$$\rho_{воз.} = 1,247 \text{ кг/м}^3.$$

4. Параметры греющего пара, используемого в технологических аппаратах и бойлере, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры греющего пара

Вид потребления	P , МПа	i_n , кДж/кг	i_k , кДж/кг	$t_{нас}$, $^{\circ}\text{C}$	v'' , м ³ /кг
1. Технологические аппараты	1,0	2778	762,4	179,9	0,1945
2. Бойлер	0,3	2726	562,0	133,5	0,6055

5. Коэффициент теплопередачи змеевика бойлера, изготовленного:

– из стали $k = 520 \div 640$ Вт/м²·К;

– из латуни $k = 700 \div 840$ Вт/м²·К.

6. Температура горячей хозяйственной воды: $t_{г.в.} = +65^{\circ}\text{C}$.

7. Температура холодной воды из городского водопровода в зимний период: $t_{х.в.} = +5^{\circ}\text{C}$.

8. Температура конденсата, сбрасываемого от технологических аппаратов: $t_{к.м} = t_{нас.} = +179,9^{\circ}\text{C}$.

9. Температура отработанного конденсата после калорифера и системы отопления, а также охлаждающей воды, подаваемой на РОУ: $t_0 = +70^{\circ}\text{C}$.

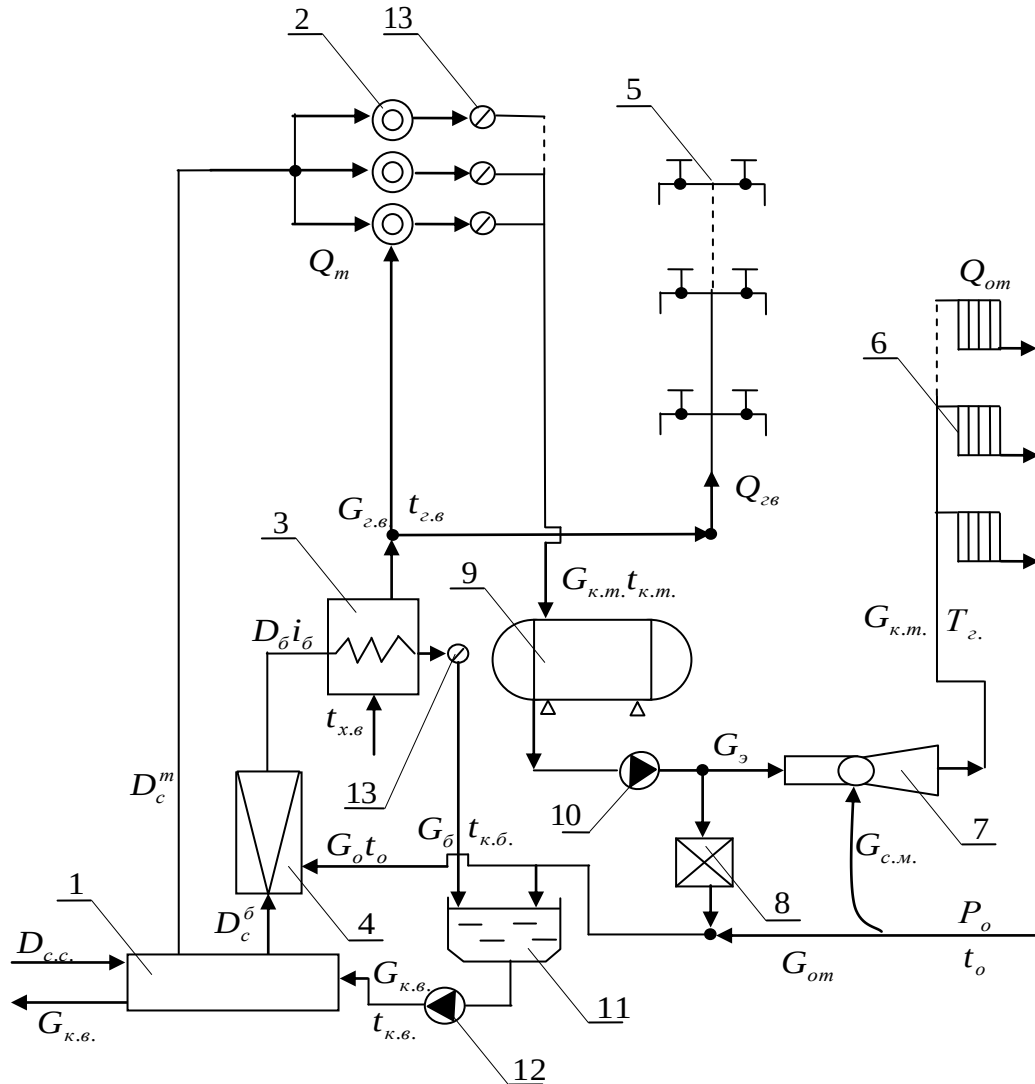


Рисунок 1 – Тепловая схема предприятия:

1–абонентский ввод; 2–теплоиспользующие аппараты; 3–бойлер;
4–редукционно-охладительная установка; 5–система горячего водоснабжения;
6–система отопления; 7–водоструйный элеватор; 8–калорифер; 9–бак сбора
высокотемпературного конденсата; 10 – питательный насос санитарно-
бытовых систем отопления и вентиляции; 11–бак сбора конденсата; 12–насос
возврата конденсата; 13–конденсатоотводчик.

2 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАССЧЕТНО- ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

В ходе выполнения расчетно-графической работы необходимо выполнять следующие условия:

- задание оформляется в виде отдельного листа с подписью студента и преподавателя, выдавшего задание, с указанием шифра задания;
- расчетно-графическая работа выполняется в тетради или на отдельных листах, в последнем случае она должна быть скреплена и иметь титульный лист;
- расчеты сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором указывать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулы и откуда они взяты;
- вычисления производить в системе СИ.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАССЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ И ПРИМЕРНЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЯ

3.1 Определение расхода сетевого пара по всем видам теплопотребления

3.1.1 По заданному объёму производственных помещений и кратности воздухообмена определяется тепловая нагрузка системы подогрева воздуха принудительной вентиляции:

$$Q_{\text{в.}} = \frac{L_{\text{под.в.}} \cdot \rho_{\text{воз.}} \cdot (t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{н.в.}}^{\text{п}}) \cdot C_{\text{воз.}}}{3600}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $L_{\text{под.в.}}$ – расчетный воздухообмен производственных помещений, определяемый из выражения:

$$L_{\text{под.в.}} = V_{\text{в}} \cdot m, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (2)$$

m , 1/ч – кратность воздухообмена;

$t_{в.}^p, t_{н.в.}^p, ^\circ\text{C}$ – температуры воздуха в помещении и наружного воздуха для вентиляции по заданию;

$C_{воз.}, \text{кДж/кг}\cdot\text{K}$ и $\rho_{воз.}, \text{кг/м}^3$ – средние значения удельной теплоемкости и плотности воздуха по заданию.

3.1.2 Исходя из суммарной тепловой нагрузки системы отопления и вентиляции, определяется секундный расход высокотемпературного конденсата ($G_{к.м.}$), поступающего в бак сбора от технологических аппаратов:

$$G_{к.м.} = \frac{Q_{ом} + Q_{в.}}{C_{в.} \cdot (t_{к.м.} - t_o)}, \text{ кг/с} , \quad (3)$$

где $Q_{ом}, Q_{в.}, \text{кВт}$ – тепловые нагрузки отопления и вентиляции;

$C_{в.} = 4,302 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$ – удельная теплоёмкость воды в рабочем интервале температур;

$t_{к.м.} - t_o = 180 - 70 = 110^\circ\text{C}$ – полезный температурный перепад конденсата, используемый в системах отопления и вентиляции предприятия.

Так как по условиям задания возврат конденсата от технологических аппаратов составляет 100%, то расход конденсата от технологических аппаратов будет равен расходу сетевого пара на технологию:

$$G_{к.м.} = D_c^m, \text{ кг/с} . \quad (4)$$

Тепловая нагрузка технологических аппаратов определяется из балансового соотношения по формуле:

$$Q_m = D_c^m \cdot (i_n^m - i_k^m) \cdot \eta_{ан}, \text{ кВт} , \quad (5)$$

где $i_n^m, i_k^m, \text{кДж/кг}\cdot\text{K}$ – энтальпия пара и конденсата технологических аппаратов;

$\eta_{an} = 0,96 \div 0,98$ – энергетический КПД теплоиспользующих аппаратов.

Часовой расход сетевого пара на технологию определяется из уравнения:

$$D_{c.ч.}^m = D_c^m \cdot 3,6, \text{ т/ч.} \quad (6)$$

3.1.3 Из уравнения теплового баланса бойлера определяется расход греющего пара на бойлер:

$$D_{\bar{o}} \cdot (I_n^{\bar{o}} - I_k^{\bar{o}}) \cdot \eta_{\bar{o}} = G_{z.в.} \cdot C_{\bar{o}} \cdot (t_{z.в.} - t_{x.в.}), \quad (7)$$

откуда
$$D_{\bar{o}} = \frac{G_{z.в.} \cdot C_{\bar{o}} \cdot (t_{z.в.} - t_{x.в.})}{(I_n^{\bar{o}} - I_k^{\bar{o}}) \cdot \eta_{\bar{o}} \cdot 3,6}, \text{ кг/с,} \quad (8)$$

где $G_{z.в.}$, т/ч – расход горячей воды;

$t_{z.в.}$, $t_{x.в.}$, °С – температуры горячей хозяйственной и холодной воды;

$i_n^{\bar{o}}$, $i_k^{\bar{o}}$, кДж/кг·К – энтальпия греющего пара бойлера и образующегося конденсата, принимаемые по заданию;

$C_{\bar{o}} = 4,17$ – кДж/кг·К – удельная теплоёмкость нагреваемой воды в рабочем интервале температур;

$\eta_{\bar{o}} = 0,96 \div 0,98$ – энергетический КПД бойлера.

Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение определяется по формуле:

$$Q_{z.в.} = G_{z.в.} \cdot C_{\bar{o}} \cdot (t_{z.в.} - t_{x.в.}) / 3,6, \text{ кВт.} \quad (9)$$

3.1.4 Выполняем тепловой расчет редукционно-охладительной установки (РОУ), которая обеспечивает снижение параметров сетевого пара до рабочих параметров бойлера. Расчет выполняется на основе уравнений материального (10) и теплового (11) баланса РОУ. Схема движения теплоносителей приведена на рисунке 2.

$$D_c^{\delta} + G_o = D_{\delta}, \text{ кг/с} \quad (10)$$

$$D_c^{\delta} \cdot I_c + G_o \cdot I_o = D_{\delta} \cdot I_{\delta}. \quad (11)$$

Рассматривая уравнения (10) и (11) как систему и используя метод подстановки, получаем выражение:

$$G_o = D_{\delta} \cdot \frac{I_c - I_{\delta}}{I_c - I_o}, \text{ кг/с}. \quad (12)$$

Из уравнения материального баланса (10) определяется расход сетевого пара на бойлер:

$$D_c^{\delta} = D_{\delta} - G_o, \text{ кг/с}. \quad (13)$$

Тепловая нагрузка бойлера определяется по формуле:

$$Q_{\delta} = D_{\delta} \cdot (I_n^{\delta} - I_k^{\delta}) \cdot \eta_{\delta}, \text{ кВт}. \quad (14)$$

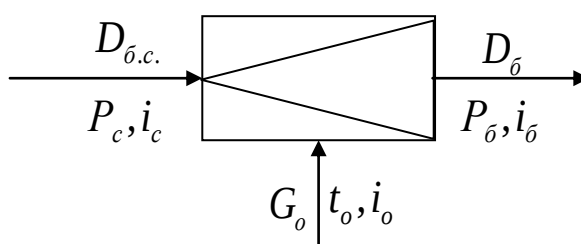


Рисунок 2 – Расчетная схема редукционно-охладительной установки

3.1.5 Суммарный расход сетевого пара, потребляемый предприятием, определяется из балансового уравнения расходов на абонентском вводе:

$$D_{c.c.} = D_{c.ч.}^m + D_{c.ч.}^б, \text{ т/ч} . \quad (15)$$

Полученное значение суммарного расхода используется в качестве определяющей нагрузки при расчете паропровода теплотрассы.

Значения тепловых нагрузок по всем видам теплопотребления предприятия представляем в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Значения тепловых нагрузок предприятия

Вид теплопотребления	Обозначение	Тепловая нагрузка, кВт
1. Технологические аппараты	Q_m	
2. Отопление	$Q_{от.}$	
3. Вентиляция	$Q_{в.}$	
4. Горячее водоснабжение	$Q_{г.в.}$	
Всего		

3.2 Расчет и выбор теплоиспользующего оборудования

3.2.1 Расчет и выбор водоструйного элеватора системы отопления

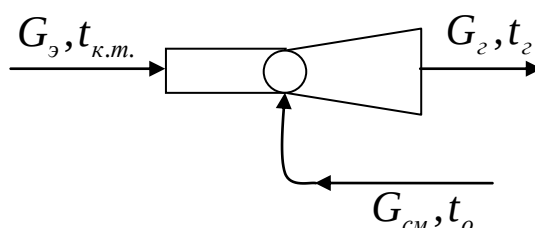


Рисунок 3 – Расчетная схема водоструйного элеватора

Определяется коэффициент эжекции (u) и расходы рабочих потоков теплоносителей элеватора.

Коэффициент эжекции (смещения) находят из выражения:

$$u = \frac{G_{см}}{G_9} = \frac{t_{к.м.} - t_z}{t_z - t_o} . \quad (16)$$

Расход горячей воды в системе отопления находят по формуле:

$$G_z = \frac{Q_{ом}}{C_g \cdot (t_z - t_o)}, \text{ кг/с}, \quad (17)$$

где $Q_{ом}$, кВт – тепловая нагрузка системы отопления предприятия;

$C_g = 4,19$ кДж/кг·К – удельная теплоёмкость греющего теплоносителя в рабочем интервале температур;

t_z – температура горячей воды перед отопительной системой, принимаемая равной $+95^\circ\text{C}$;

t_o – температура воды в обратном трубопроводе системы отопления, принимаемая равной $+70^\circ\text{C}$.

Расход высокотемпературного конденсата на входе элеватора определяется из выражения:

$$G_9 = \frac{G_z}{1 + u}, \text{ кг/с} . \quad (18)$$

Диаметр горловины (камеры смешения) элеватора рассчитывается по формуле:

$$d_z = 0,165 \cdot \frac{G_z^{0,5}}{\Delta\rho_o^{0,25}}, \text{ м}, \quad (19)$$

где $\Delta\rho_o = p_z - p_o = (10 \div 15) \cdot 10^3$, Па – потери давления греющей воды в системе отопления.

По найденному размеру горловины из приложения 1 подбирается элеватор типа ВТИ Мосэнерго с фактическим размером горловины $d_z^\phi \geq d_z$.

Для принятого типа элеватора определяется требуемый размер диаметра сопла:

$$d_c = \frac{d_z^\phi}{\sqrt{1,2(1+u)^2 - 0,95u^2}}, \text{ м.} \quad (20)$$

Конструктивные размеры элеватора определяются по приложению 1. Особенности конструкции приводятся в литературных источниках [1,2].

Определяем требуемый перепад давлений горячей воды на рабочем сопле элеватора:

$$\Delta p_c = p_z - p_o = 1,1 \cdot (d_z^\phi / d_c) \Delta p_o, \text{ Па.} \quad (21)$$

3.2.2 Расчет калорифера системы принудительной вентиляции

Расчет калорифера сводится к определению требуемой поверхности теплообмена и выбору стандартизированного аппарата.

Определяется расход высокотемпературного конденсата, подаваемого в качестве греющего теплоносителя на калорифер:

$$G_{\text{кал.}} = \frac{Q_{\text{в.}}}{C_{\text{в.}} \cdot (t_{\text{к.т.}} - t_o)}, \text{ кг,} \quad (22)$$

где $Q_{\text{в.}}$ — тепловая нагрузка системы вентиляции по заданию;

$C_{\text{в.}} = 4,302 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ — удельная теплоемкость греющего теплоносителя в рабочем интервале температур;

$t_{\text{к.т.}}$ и t_o — параметры теплоносителя.

При подборе калорифера задаются массовой скоростью воздуха и по ней определяют требуемое живое сечение калорифера (f), тип калорифера и соответствующее принятому типу значение коэффициента теплопередачи рабочей поверхности аппарата (k). Экономически выгодная массовая скорость воздуха находится в пределах $4 \div 15 \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2)$ и определяется по формуле:

$$V_p = \frac{L_{nod.в} \cdot \rho_{воз.}}{3600 \cdot f}, \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2) , \quad (23)$$

где $L_{nod.в}$ – расчетный воздухообмен помещений, определенный в разделе 3.1.1;

$\rho_{воз.}$ – средняя плотность воздуха по заданию;

f , м² – живое сечение калорифера для прохода нагреваемого воздуха (площадь просветов). Значения живого сечения калорифера (f) приводятся в технических характеристиках калориферов по приложению 3.

Рекомендуемые значения массовой скорости (V_p) и соответствующие им значения коэффициентов теплопередачи (k) даны в приложении 4.

Для принятого типа калорифера и рабочих температурных условий уточняется требуемая рабочая поверхность теплообмена:

$$F_{кал} = 1,15 \cdot \frac{Q_в \cdot 10^3}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2 , \quad (24)$$

где 1,15 – коэффициент, характеризующий тепловые потери;

$Q_в$, кВт – тепловая нагрузка системы вентиляции;

k , Вт/(м²·К) – паспортное значение коэффициента теплопередачи калорифера, принимаемое по приложению 4;

Δt_{cp} , °С – средний температурный перепад между греющим теплоносителем и нагреваемым воздухом, определяемый по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{м}}{\ln(\Delta t_{\delta} / \Delta t_{м})}, \text{ °С} . \quad (25)$$

Если расчетная величина поверхности теплообмена не превышает табличного значения, то калорифер принимается к установке.

3.2.3 Расчет бойлера системы горячего водоснабжения

Расчет ёмкостного водонагревателя бойлера состоит в определении требуемой поверхности теплообмена змеевика бойлера, которая, с учетом запаса на загрязнение, определяется по формуле:

$$F_3 = 1,15 \cdot \frac{Q_6 \cdot 10^3}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \text{м}^2, \quad (26)$$

где $Q_6 = Q_{г.в.}$, кВт – тепловая нагрузка системы горячего водоснабжения, определенная в разделе 3.1.3;

k , Вт/(м²·К) – коэффициент теплопередачи рабочей поверхности змеевика по заданию;

Δt_{cp} , °С – средний температурный перепад между греющим теплоносителем (паром) и нагреваемой водой, определяемый как среднелогарифмический напор.

По приложению 2 принимается стандартный тип водонагревателя, для которого выполняется условие $F_{з.фак.} \geq F_{з.расч.}$.

3.3 Расчет температуры возвращаемого конденсата

В бак сбора возвращаемого конденсата поступает конденсат от бойлера и вода (отработанный теплоноситель) после систем вентиляции и отопления. Температура конденсата, возвращаемого на ТЭЦ, определяется из уравнения теплового баланса бака сбора конденсата:

$$t_{к.в.} = \frac{G_6 \cdot t_{к.б.} + G_{кал} \cdot t_o + G_{от.} \cdot t_o}{G_6 + G_{кал.} + G_{от}}, \text{°С}, \quad (27)$$

где $G_6 = D_6$, кг/с – расход конденсата бойлера, определенный в разделе 3.1.3;

$G_{\text{кал}}$, кг/с – расход отработанного теплоносителя из калорифера, определенный в разделе 3.2.2;

$G_{\text{от}} = G_{\text{э}}$, кг/с – расход отработанного теплоносителя из системы отопления, определенный в разделе 3.2.1;

Суммарный расход конденсата, возвращаемого на ТЭЦ по конденсаторному проводу, определяется из балансового соотношения:

$$G_{\text{к.в.}} = G_{\text{б}} + G_{\text{кал.}} + G_{\text{от}}, \text{ кг/с} . \quad (28)$$

3.4 Расчет трубопроводов теплотрассы

3.4.1 Определение диаметра паропровода

Для определения начальных параметров пара, отпускаемого ТЭЦ, находим падение температурного потенциала пара на трассе заданной протяженности:

$$\Delta t_{\text{мп.}} = \frac{2}{100} \cdot L, ^\circ\text{C} , \quad (29)$$

где $2/100, ^\circ\text{C/м}$ – удельные потери температурного потенциала.

Начальная температура пара будет равна:

$$t_{\text{н.с.}} = t_{\text{с}} + \Delta t_{\text{мп.}}, ^\circ\text{C} . \quad (30)$$

По таблице 1.5 [2] для полученной начальной температуры пара определяем начальные параметры пара: давление пара $P_{\text{н.с.}} = 1,4$ МПа и плотность пара $\rho_{\text{н.с.}} = 7,14$ кг/м³.

Внутренний диаметр паропровода определяем по условиям гидравлического расчета по формуле:

$$d_{\text{вн}} = 0,63 \cdot \frac{K_{\text{э}}^{0,0475}}{\rho_{\text{н.с.}}^{0,19}} \cdot \frac{D_{\text{с.с.}}^{0,38}}{R_{\text{л}}^{0,19}}, \text{ м} , \quad (31)$$

где K_3 – коэффициент эквивалентной шероховатости трубопровода, м;

R_l – коэффициент удельных линейных потерь давления, Па/м;

$$D_{c.c.} = D_c^m + D_c^{\delta}, \text{ м.} \quad (32)$$

Полученное расчетное значение диаметра округляем до ближайшего большего из стандартного ряда по приложению 5.

3.4.2 Определение толщины стенки паропровода

Минимально допустимая толщина стенки, обеспечивающая условие не разрушения, определяется по условиям прочностного расчета из формулы:

$$\delta_p = \frac{P_{\max} \cdot d_{\text{вн}}^{cm}}{2 \cdot [\sigma] - P_{\max}} + C, \text{ м.} \quad (33)$$

где $P_{\max}$ – максимальное давление пара в теплосети, МПа;

$d_{\text{вн}}^{cm}$ – внутренний диаметр трубопровода по сортаменту труб, м;

$C = 0,002 \div 0,004$ м – конструктивная прибавка на коррозию и неучтенные факторы;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение на расстояние н/мм², определяемое по формуле:

$$[\sigma] = \frac{\sigma^6}{K_3}, \text{ Н/мм}^2, \quad (34)$$

где σ^6 – предел прочности при растяжении, принимаемый по виду материала (сталь 10 – 320 Н/мм²; сталь 20 – 400 Н/мм²);

$K_3 = 3 \div 5$ – нормативный коэффициент запаса прочности.

Полученное значение расчетной толщины (δ_p) округляют до ближайшего большего значения из стандартного ряда (приложение 5), соблюдая условие:

$$d_{вн}^{cm} + 2 \delta^{cm} = d_n^{cm}.$$

Для принятого стандартного типоразмера трубы определяется действительная скорость движения теплоносителя в трубе:

$$W = \frac{4 \cdot D_{с.с.}}{\rho \cdot \pi \cdot (d_{вн}^{cm})^2}, \text{ м/с.} \quad (35)$$

Значение действительной скорости движения насыщенного пара в трубопроводе должно находиться интервале нормируемых значений (25÷30м/с).

3.4.3 Тепловой расчет паропровода теплосети

Задачей теплового расчета является определение толщины теплоизоляции, при которой фактические теплотери не превысят установленных норм и падения температуры теплоносителя на участке трассы. Расчетная схема подземной канальной прокладки показана на рисунке 4. Конструктивные размеры типовых непроходных каналов приведены в приложении 5.

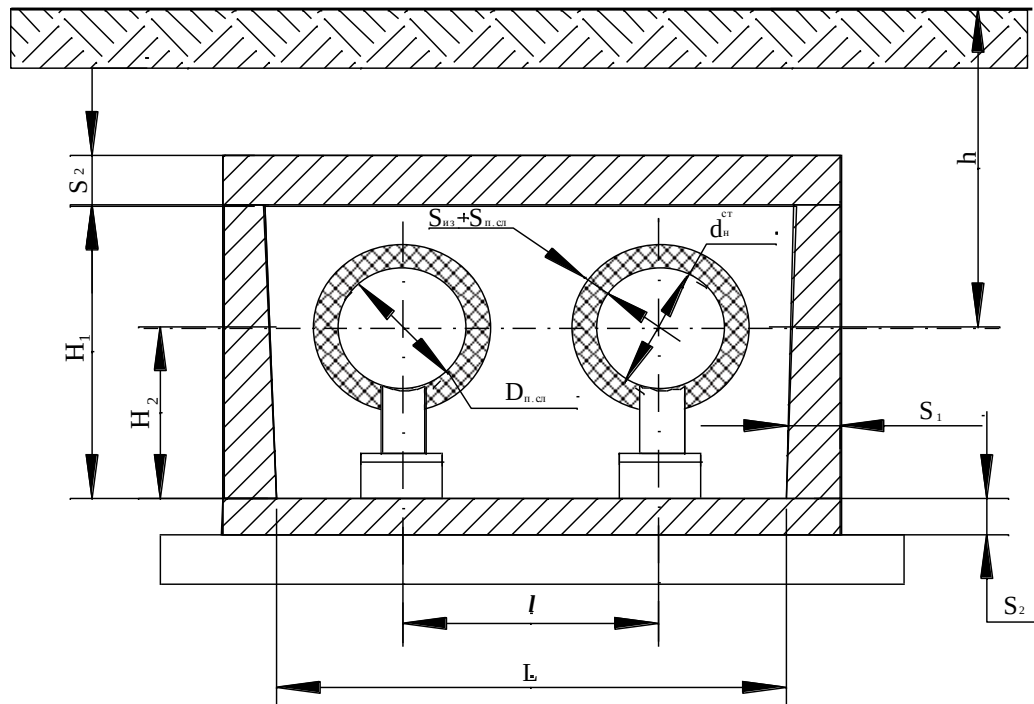


Рисунок 4 – Расчетная схема подземной канальной прокладки теплотрассы

Задачей теплового расчета является определение толщины теплоизоляции, при которой фактические теплопотери не превысят установленных норм и падения температуры теплоносителя на участке трассы. Расчетная схема подземной канальной прокладки показана на рисунке 4. Конструктивные размеры типовых непроходных каналов приведены в приложении 5.

Величина нормируемых теплопотерь (q_n) определяется из приложения 6, а затем уточняется (в зависимости от температуры окружающего воздуха) по приложению 7.

При этом за температуру окружающего воздуха принимают расчетную температуру наружного воздуха для отопления ($t_{н.о.}^p$).

Определяются удельные потери на изолированных участках трубопровода:

$$q = \frac{q_n}{1 + \beta}, \text{ Вт/м}, \quad (36)$$

где β – коэффициент местных потерь, принимаемый для подземной канальной прокладки равным 0,25.

Определяется требуемое суммарное термическое сопротивление трубопровода:

$$\sum R = \frac{\tau_1' - t_{г}^p}{q}, \text{ м} \cdot \text{К/Вт}, \quad (37)$$

где τ_1' – максимальная температура пара (воды) в трубопроводе;

$t_{г}^p = t_{н.о.}^p$ – расчетная температура наружного воздуха для отопления, определяемая по заданию.

Определяется требуемое термическое сопротивление изоляции:

$$R_{из} = \sum R - (R_{вн} + R_{тр} + R_{н.сл} + R_{кан} + R_n + R_{зр} + R_{1-2}), \text{ м} \cdot \text{К/Вт}. \quad (38)$$

Термические сопротивления отдельных элементов многослойной конструкции, входящие в уравнение (38), определяются из уравнений теплопроводности рассматриваемых слоев и уравнений конвективного теплообмена на наружной и внутренней поверхности изолированного трубопровода.

$R_{вн}$ и $R_{тр}$ – термическое сопротивление соответственно, внутренней поверхности и стенки трубы, которыми в следствие их малости пренебрегают, то есть $R_{вн} = 0$ и $R_{тр} = 0$.

$R_{н.сл}$ – термическое сопротивление поверхностного (защитного) слоя изоляции, определяемое по формуле:

$$R_{н.сл} = \frac{1 \ln(D_{н.сл} / D_{из})}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{н.сл}}, \text{ м} \cdot \text{К/Вт}, \quad (39)$$

где $D_{из}, D_{н.сл}$ – наружные диаметры поверхностного (защитного) слоя изоляции и наружного диаметра изоляции, определяемые из соотношений:

$$D_{из} = d_n^{cm} + 2 \cdot \delta_{из}, \text{ м}; \quad (40)$$

$$D_{н.сл} = D_{из} + 2 \cdot \delta_{н.сл}, \text{ м}. \quad (41)$$

$\lambda_{н.сл}$ – коэффициент теплопроводности поверхностного слоя изоляции, принимаемый для асбоцементной штукатурки равным 0,38 Вт/МК (поверхностный слой изоляции выполняется в защитных целях в виде штукатурки по металлической сетке толщиной 10÷20 мм).

R_n – термическое сопротивление переходу тепла от поверхности конструкции к воздуху канала, определяемое по формуле:

$$R_n = \frac{1}{\pi \cdot D_{н.сл} \cdot \alpha_n} = 0,027, \text{ м} \cdot \text{К/Вт}, \quad (42)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к воздуху, принимаемый для непроходных каналов равным $8,14 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

$R_{кан}$ – термическое сопротивление внутренней поверхности канала (сопротивлением стенок канала пренебрегаем и относим их к сопротивлению грунта) находят из выражения:

$$R_{кан} = \frac{1}{\pi \cdot D_{экв} \cdot \alpha_{кан}}, \text{ м К/Вт}, \quad (43)$$

где $D_{экв}$ – эквивалентный диаметр прямоугольного непроходного канала, определяемый по формуле:

$$D_{экв} = \frac{4 \cdot F}{P}, \text{ м}, \quad (44)$$

где P – периметр, F – площадь сечения канала;

$\alpha_{кан} = \alpha_n = 8,14 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ – коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенкам канала.

$R_{гр}$ – термическое сопротивление грунта, включающее термическое сопротивление от поверхности грунта к воздуху, определяемое по формуле:

$$R_{гр} = \frac{1n(4 \cdot h_{пр} / D_{экв})}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}}, \text{ м} \cdot \text{К/Вт}, \quad (45)$$

где $h_{пр}$, м – приведенная глубина заложения оси трубопровода, зависящая от действительной глубины заложения оси (h , м), которая принимается в пределах $0,5 \div 0,7$ м с учетом величины наружного диаметра конструкции ($D_{н.сл}$); величина приведенной глубины заложения определяется из выражения:

$$h_{np} = h + \frac{\lambda_{zp}}{\alpha_o}, \text{ м}, \quad (46)$$

где $\alpha_o = 2 \div 3$, Вт/м²·К – коэффициент теплоотдачи грунта к воздуху;

λ_{zp} , Вт/(м·К) – коэффициент теплопроводности грунтов, принимаемый в зависимости от степени влажности грунта равным:

0,55 Вт/(м·К) – для сухих грунтов;

1,10 Вт/(м·К) – для маловлажных грунтов;

1,70 Вт/(м·К) – для влажных грунтов.

R_{1-2} – термическое сопротивление, учитывающее взаимное влияние труб при прокладке в непроходном канале, определяемое из выражения:

$$R_{1-2} = \varphi \cdot (R_{кан} + R_{zp}), \text{ м К/Вт}, \quad (47)$$

где φ – коэффициент, учитывающий взаимное влияние труб, принимаемый для подающего трубопровода в пределах 0,5÷0,6.

Требуемая толщина изоляции трубопровода определяется по формуле:

$$\delta_{уз} = d_n^{cm} \times \frac{e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{уз} \cdot R_{уз}} - 1}{2}, \text{ м}, \quad (48)$$

где $d_n^{cm} = d_{вн}^{cm} + 2 \cdot \delta^{cm}$ – наружный диаметр трубы, м;

$\lambda_{уз}$ – коэффициент теплопроводности материала изоляции, определяемый в зависимости от средней температуры слоя по формуле:

$$\lambda_{уз} = 0,051 + 0,0002 t_{cp}, \text{ Вт/м·К}, \quad (49)$$

где $t_{cp} = 0,5(t_c + 20)$ – средняя температура изоляционного слоя, °С.

Полученный результат округляется до ближайшего большего значения из стандартного ряда элементов изоляции ($\delta_{уз}$).

На заключительном этапе расчета по формулам (40) и (41) определяются наружные диаметры изоляции и поверхностного слоя изолированного трубопровода.

По полученным расчетным значениям термических сопротивлений составляющих элементов конструкции уточняется величина фактического суммарного сопротивления:

$$R_{\phi} = R_{вн} + R_{тр} + R_{из} + R_{н.сл} + R_{кан} + R_{н} + R_{зр} + R_{1-2}, \text{ м} \cdot \text{К/Вт}, \quad (50)$$

где

$$R_{из} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из}} \times 1n \frac{D_{из}}{d_n^{cm}}, \text{ м} \cdot \text{К/Вт}. \quad (51)$$

Используя полученную расчетную величину фактического термического сопротивления конструкции, уточняется величина фактических удельных теплотерь:

$$q_{\phi} = \frac{\tau_1' - t_{н.о}^p}{\Sigma R_{\phi}}, \text{ Вт/м}. \quad (52)$$

Проверяется соблюдение условия $q_{\phi} \leq q$.

3.4.4 Расчет конденсатопровода

Трубопровод возврата конденсата находится в менее напряженном состоянии по температуре и давлению. Поэтому расчета толщины стенки трубы и теплоизоляции не производим и в целях унификации принимаем их значения равными расчетным значениям для паропровода.

Подставляя в расчетную формулу внутреннего диаметра трубопровода (31) значения K_{Σ} , ρ , R_{λ} для конденсата, получают диаметр конденсатопровода.

Стандартный типоразмер трубы выбирается по приложению 4.

3.4 Примерный календарный план выполнения расчетно-графической работы

Выдача задания	1 – 2 недели семестра.
Выполнение расчетно-графической работы	3 – 9 недели семестра.
Проверка расчетно-графической работы	10 – неделя семестра.
Доработка при возвращении на доработку	11 –12 неделя семестра.
Защита работы	13 –14 неделя семестра.

4. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТУДЕНТА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Соответствие выданного варианта исходных данных, оформление и техника расчёта расчетно-графической работы проверяется преподавателем, который даёт допуск к защите или возвращает её на доработку (замечания по доработке указываются преподавателем на полях или на титульном листе). При выявлении несоответствия выданного варианта исходных данных выполненным фактическим расчетам, студент производит перерасчёт контрольной работы в соответствии с первоначально полученным шифром исходных данных. Шифр задания фиксируется в рабочем журнале у преподавателя. При защите студент комментирует цели и задачи выполненных расчетов, приводит теоретическое обоснование полученных результатов, комментирует алгоритмическую структуру технологических расчетов. Защита работы оценивается по накопительной системе приема зачетов: – зачтено или не зачтено.

Комплект заданий для расчетно-графической работы по дисциплине «Современные проблемы теплогазоснабжения населенных мест и предприятий»

Примерные варианты расчетно-графических работ для самостоятельной работы студентов

Задача 1. Тема: «Расчет абонентского ввода промышленного предприятия»

В расчетно-графической работе решаются вопросы по расчету и выбору оборудования теплового пункта промышленного предприятия, а также по расчету проектного участка тепло-трассы.

Источником тепловой энергии промышленного предприятия является пар, поступающий из отбора турбин ТЭЦ по теплотрассе заданной протяженности.

Система потребления тепла на предприятии закрытая, возврат конденсата к источнику тепла составляет 100%.

Потребителями тепловой энергии на предприятии являются технологические теплоиспользующие аппараты, а также санитарно-технические системы отопления вентиляции и горячего водоснабжения.

РГР включает следующие виды расчетов:

- 1.1. Произвести выбор водоструйного элеватора для системы радиаторного отопления.
- 1.2. Определить тепловую нагрузку системы принудительной вентиляции и подобрать калорифер, обеспечивающий её покрытие.
- 1.3. Определить тепловую нагрузку системы горячего водоснабжения и подобрать ёмкостной водонагреватель, обеспечивающий её покрытие.
- 1.4. Выполнить тепловой расчет редукционно-охладительной установки (РОУ) и определить суммарный расход сетевого пара на абонентском вводе предприятия.
- 1.5. Определить температуру конденсата, возвращаемого на ТЭЦ.
- 1.6. Произвести механический, гидравлический и тепловой расчет теплотрассы.

Исходные данные для расчёта принять из таблицы 1 по предпоследней и последней цифре шифра зачетной книжки студента.

Таблица 1 – Основные характеристики теплопотребления объекта

Предпоследняя цифра шифра	$t_{н.о.}^p, ^\circ\text{C}$	$t_{н.в.}^p, ^\circ\text{C}$	$V_{в}, \text{ тыс. м}^3$	Последняя цифра шифра	$G_{с.в.}, \text{ т/ч}$	$Q_{от.}, \text{ кВт}$	$L, \text{ м}$	$m, \text{ л/ч}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	– 31	– 19	10	1	4,0	550	300	4,0
2	– 23	– 8	30	2	8,0	950	750	3,0
3	– 19	– 5	15	3	6,5	650	350	5,0
4	– 25	– 14	35	4	8,5	590	700	2,0
5	– 22	– 9	25	5	5,5	880	400	3,5
6	– 20	– 7	18	6	4,5	750	650	4,5
7	– 28	– 16	28	7	6,0	980	450	3,0
8	– 35	– 20	38	8	6,8	1000	600	2,5
9	– 27	– 18	20	9	5,0	1100	550	5,0
0	– 30	– 16	32	0	7,0	1200	500	3,0

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить УК-1, ПК-1 компетенции.

Для выполнения РГР по дисциплине «Современные проблемы теплогазоснабжения населенных мест и предприятий» необходимо успешно освоить лекционный и практический курс данной дисциплины в течение учебного семестра. Также оптимальным способом подготовки к данному мероприятию является самообразование студентов на основании предоставленных университетом и кафедрой обучающих и методических материалов согласно технологической карте самостоятельной работы студента.

При проверке задания, оцениваются:

- правильность выполнения заданий;
- последовательность и рациональность выполнения;
- точность расчетов.

При проверке РГР оцениваются:

- последовательность изложения материала;
- правильность оформления курсового проекта;

- правильность выполнения графической части.

При защите РГР оцениваются:

- четкое изложение материала;
- умение ориентироваться в тексте и расчетах проекта;
- правильность ответов на дополнительные вопросы по теме курсового проекта.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перечень основной литературы:

1. Арутюнов В.А., Крупенников С.А., Сборщиков Г.С. Теплофизика и теплотехника: курс лекций. МИСИС, 2018, 228 с.
2. Цирельман, Н. М. Техническая термодинамика : учебное пособие для вузов / Н. М. Цирельман. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 352 с

2. Перечень дополнительной литературы:

1. Кудинов, В. А. Техническая термодинамика. Учебное пособие для втузов [Текст] / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов. М. : Высшая школа, 2000. — 261 с.
2. Воронин, А. И. Современные проблемы теплогазоснабжения населенных мест и предприятий : учебное пособие / А. И. Воронин. — Ставрополь : СКФУ, 2014. — 199 с

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица А. 1 – Размеры стальных водоструйных элеваторов ВТИ – Мос-
энерго, мм

Конструктивный элемент	Номер элеватора						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Диаметр горловины	51	20	25	30	35	47	59
2. Наружный диаметр корпуса	44	44	56	56	56	88	88
3. Внутренний диаметр корпуса	39	39	49	49	49	81	81
4. Диаметр патрубка сопла	32	32	44	44	44	72	72
5. Внутренний диаметр подводящего патрубка	40	40	50	50	50	80	80
6. Внутренний диаметр выходного патрубка	50	50	80	80	80	100	100
7. Габаритная длина	425	425	625	625	625	720	720

Таблица Б. 2 – Технические характеристики емкостных водонагревателей (бойлеров)

Тип водонагревателя	Площадь поверхности, м ²	Рабочая емкость, м ³
3073 № 04	0,475	0,400
3075 № 1	1,220	1,000
3077 № 2; 5	2,880	2,500
СТД 3068 № 1	1,300	1,000
СТД 3070 № 2; 5	3,160	2,500
СТД 3071 № 4	4,780	4,000

Таблица В. 1 – Технические характеристики калориферов

Тип калорифера	Площадь поверхности нагрева, м ²	Живое сечение по воздуху, м ²	Масса, кг
КСк1-1-01	2,45	0,078	16,6
КСк1-3-01	3,63	0,119	19,5
КСк1-5-01	5,40	0,181	26,7
КСк1-1-01	4,70	0,078	20,8
КСк2-3-01	6,94	0,119	28,9
КСк2-12 -01	61,20	1,045	159,3
КСк3-1-01	7,17	0,078	31,9
КСк2-7-01	11,97	0,130	47,5
КСк3-12-01	91,80	1,045	250,1
КСк4-1-01	9,40	0,078	37,7
КСк4-6-01	12,60	0,103	44,3
КСк4-8-01	18,80	0,158	60,3
КВС6 -П	11,40	0,139	56,2
КВС8 -П	16,92	0,205	74,8
КВС10 -П	25,08	0,303	102,2
КВВ6 -П	18,81	0,172	84,0
КВВ9 -П	26,00	0,238	109,1
КВВ12-П	143,50	1,298	518,3

Таблица Г. 1 – Теплофизические характеристики калориферов

Тип калорифера	Массовая скорость воздуха, кг/(с·м²)	Коэффициент теплопередачи			Аэродинамическое сопротивление, Па
		Вода при скорости, м/с		Пар	
		0,5	1,0		
КВС-П	7	35,4	38,9	38,9	50,5
	12	42,1	46,1	46,1	118,0
КВВ-П	7	33,6	36,8	36,8	68,1
	12	40,0	43,7	43,7	166,0
КСк-1	7	48,6	52,0	-	15,0
	12	61,6	65,8	-	39,5
КСк-2	7	50,2	56,0	-	29,5
	12	63,5	70,7	-	85,5
КСк-3	7	51,7	57,4	-	49,1
	12	67,1	74,2	-	128,2
КСк-4	7	49,0	56,5	-	63,2
	12	65,6	75,7	-	164,0

Таблица Д. 1 – Конструктивные характеристики непроходных каналов

Условный диаметр труб, D_y , мм	Размер труб		Предельная толщина изоляции, $D_{п. сл}$, мм	Тип канала	Размеры канала, мм					
	Диаметр, d_n , мм	Толщина стенки, $\delta^{ст}$, мм			H_2	H_1	l	L	Толщина стенки	
									S_1	S_2
50 70 80	57 76 89	2,0-12,0 2,0-18,0 2,0-22,0	100	КЛ-60-45	224 234 241	460	280	600	80	120
100 125	108 133	2,0-28,0 3,0-32,0	150	КЛ-90-45	255 268	460	400	900	100	140
150	159	3,0-36,0	170	КЛ-90-60	281	590	400	900	100	140
175 200 250	194 219 273	4,0-45,0 6,0-50,0 7,0-50,0	180	КЛ-120-60	298 311 338	590	540	1200	120	180
300 350 400	325 377 426	8,0-75,0 9,0-75,0 9,0-75,0	190 200 150	КЛ-150-90	364 440 460	840	660 680 700	1500	140	200

Примечание: значение $\delta^{ст}$, мм в указанных интервалах брать из ряда: 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 17; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 60; 63; 70; 75.

Таблица Е. 1 – Нормы тепловых потерь для изолированной поверхности теплопровода с 1 м длины при температуре окружающего воздуха $t = + 25^{\circ}\text{C}$

Наружный диаметр труб, $d_{ст}^H$, мм	Температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$						
	100	150	200	250	300	350	400
	Тепловые потери, Вт/м						
32	33	50	67	86	105	122	140
48	36	57	76	98	119	138	158
57	37	62	81	105	126	148	169
76	43	67	91	115	140	164	188
108	52	79	105	131	159	186	212
159	70	98	130	163	193	223	256
219	81	116	154	192	228	264	302
275	91	129	170	213	254	291	336
325	100	142	186	233	279	323	369
377	107	152	204	254	302	349	400
426	114	163	221	273	306	374	430
529	140	198	256	314	378	436	500
630	163	227	294	361	430	495	564
720	186	256	326	395	458	547	616
820	209	291	366	442	518	599	675
1020	262	349	430	523	611	698	779

Таблица Ж. 1 – Поправочные коэффициенты к нормам тепловых потерь в зависимости от температуры окружающего воздуха (t)

Температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$			
	100	150	200	250
+40	0,89	0,94	0,95	0,96
+30	0,97	0,98	0,98	0,99
+25	1,0	1,0	1,0	1,0
0	1,15	1,1	1,07	1,05
-10	1,21	1,13	1,1	1,07
-20	1,26	1,17	1,12	1,1
-30	1,32	1,2	1,14	1,13
-40	1,39	1,23	1,17	1,14

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕ-
РАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям

по дисциплине

**«Современные проблемы теплогазоснабжения населенных мест и пред-
приятий»**

по направлению 08.04.01 «Строительство»

**направленность (профиль) «Теплогазоснабжение населенных мест и
предприятий»**

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Современные проблемы теплогазоснабжения населенных мест и предприятий» содержат краткие теоретические сведения о проблемах и перспективах развития отрасли, а также методики расчета элементов систем теплогазоснабжения, рекомендуемую литературу и задачи для закрепления теоретических знаний практическими примерами. Предназначены для магистрантов направления 08.04.01 – «Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий».

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ПЗ 1. Методы и способы моделирования.....
2.	ПЗ 2. Построение планов эксперимента первого и второго порядка.....
3.	ПЗ 3. Предмет менеджмента как науки.....
4.	ПЗ 4. Первый и второй законы термодинамики.....
5.	ПЗ 5. Идеальные термодинамические циклы
6.	ПЗ 6. Определение расходов тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых, общественных и производственных зданий.....
7.	ПЗ 7. Расчет различных схем тепловых пунктов и выбор технологического оборудования.....
8.	Список рекомендуемой литературы.....
	ПРИЛОЖЕНИЯ

ПЗ 1. МЕТОДЫ И СПОСОБЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

1.1 Теоретическая часть

1.1.1 Основные понятия и определения

Современный этап технократического развития человечества характеризуется определенным внутренним противоречием. Сущность его состоит в следующем:

- с одной стороны, для того чтобы обеспечить конкурентоспособность выпускаемой продукции фирма (предприятие) должна внедрять научные разработки самых последних лет;
- в то же время возрастающая сложность этих разработок заставляет тратить все больше времени на их промышленное освоение.

Одним из главных методов, позволяющих сократить сроки освоения научных разработок, является моделирование.

Сегодня моделирование является теоретической базой практически для всех отраслей промышленности.

Так, например, в современной промышленной теплоэнергетике метод теплового моделирования позволяет решать сложные задачи по расчету теплообменных процессов в промышленных установках, где проведение экспериментальных исследований не представляется возможным.

Исследования проводят в лабораториях на моделях, а затем, с помощью теории теплового моделирования, результаты переносятся на промышленный объект: основной принцип: два явления подобны, если в сходственных точках имеют одинаковые численные значения одноименных критериев.

В современных системах электроснабжения метод моделирования является основным инструментом исследования на предмет их «поведения»,

как в рабочих режимах, так и что особенно важно – в критических: перегрузки, броски напряжения, короткое замыкание и т.д. Энергетики создают математические модели своих энергосистем, а затем исследуют их «поведение» на ЭВМ. Такие исследования называют системными.

Моделирование – это метод изучения объектов, при котором вместо оригинала (интересующего объекта) эксперимент проводят на модели (другой объект), а результат количественно распространяют на оригинал.

Таким образом, по результатам опытов с моделью мы должны количественно предсказать поведение оригинала в рабочих условиях. При этом, распространение на объект выводов, полученных в опытах с моделью, не обязательно должно означать простое равенство тех или иных параметров оригинала и модели: достаточно получить правило расчета интересующих нас параметров оригинала [1].

1.1.2 Требования, предъявляемые к процессу моделирования

К процессу моделирования предъявляется два основных требования.

Во-первых, эксперимент на модели должен быть проще, быстрее, одним словом, экономичнее, либо безопаснее, чем эксперимент на оригинале. Иначе не стоило, бы создавать модель: лучше было бы построить оригинал и экспериментировать прямо на нем.

Сказанное не означает, что модель должна быть обязательно дешевле оригинала. Часто бывает целесообразно построить дорогую, но универсальную модель, которую можно будет использовать для моделирования многих оригиналов.

Модель не является фотографической копией оригинала.

В целях упрощения модели по сравнению с объектом используется прием отсечения несущественных факторов. Так, например, если реальный процесс варьируется по $10 \div 15$ факторам, но при этом 10 из них влияют на результат в пределах $1 \div 3 \%$, то после тщательного анализа, некоторые из

них можно опустить, а другие попытаться объединить в группы – комплексы и тем самым резко сократить общее число определяющих факторов.

Примером универсальной модели может служить лабораторный стенд для исследования ионообменных процессов в технологии водоподготовки, созданный на кафедре "Теплотехника, ТГСйВ". Стенд собран из стеклянных ионообменных колонок – цилиндров диаметром $16 \div 32$ мм и оснащен запорно-регулирующей арматурой, системами подачи и дозирования рабочих потоков и реагентов. Технические возможности стенда позволяют моделировать практически все виды ионообменных технологий и среди них такие как:

Na – катионирование;

H – катионирование;

Cl и *OH* – анионирование;

химическая ионообменная дистилляция, представляющая собой моделирование различных технологических систем включения фильтров с разработкой и созданием новых приоритетных решений, оформляемых заявками на изобретение.

Второе обязательное требование к процессу моделирования – это знание алгоритма (правила), по которому проводится расчет параметров оригинала на основе результатов испытания модели. Без этого даже самое лучшее исследование модели окажется бесполезным. Так на стыке модели и объекта рождается теория, то есть наука об изучаемом объекте.

Если вся проделанная экспериментальная работа не согласуется с экспериментальным объектом, то истоки ошибки надо искать, либо в технике проведения эксперимента, либо в самой (очевидно несовершенной) модели, либо – в разработанной теории пересчета результатов эксперимента на объект.

1.1.3 Материальные и мысленные модели

В современной науке термин модель применяется в основном в двух значениях.

Первое – это объект (лабораторный стенд), которым в ходе эксперимента заменяют оригинал. Такую модель называют материальной.

Второе – это схема объекта (явления), отражающая его существенные стороны, которая возникает в сознании человека в процессе познания материального мира. Такую модель называют мысленной.

Примерами мысленных моделей могут служить:

- модель атома Резерфорда;
- модель молекулы Бутлерова.

Эти модели называют также идеальными или познавательными.

Следует отметить, что любая материальная модель строится на основе мысленной.

1.1.4 Физические и математические модели

Физические модели – это реальные лабораторные стенды, которыми в ходе эксперимента заменяют оригинал.

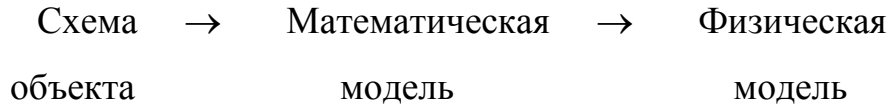
Свойство психики человека таково, что всякое явление он представляет в виде образов. Обычно схема объекта первоначально возникает как совокупность наглядных физических понятий, то есть образов. Так математикам удается образно представить двойной и тройной интеграл и даже 5-и, 6-и и многомерные пространства. Реальным технологическим примером может служить также физическая мыслительная модель термоядерного реактора (ТОКАМАК) в виде тороидальной камеры.

Затем, как правило, на основе этих физических представлений строится количественное описание объекта. Оно представляет собой совокупность математических структур: уравнений, неравенств, таблиц и графиков.

Такое описание называют математической моделью, или математическим описанием объекта.

Исключение. Существует и чистое построение «сразу» математической модели без создания физического образца. Такие решения часто реализуются в современной кибернетике.

Логическая последовательность развития идеи:



Мысленные модели могут быть представлены, как умозрительными схемами, так и математическими описаниями в виде систем уравнений, неравенств и т.д [1].

1.1.5 Математические модели непрерывных сред и псевдогомогенные модели

Эта группа мысленных моделей играет важную роль в развитии ряда классических и современных наук. Так, например, при взгляде на такие фундаментальные науки, как гидродинамика и термодинамика нельзя не отметить интересную особенность – эти науки описывают свойства веществ так, как будто оно не состоит из молекул.

Когда в гидравлике рассматривают движение частицы жидкости, речь идет вовсе не о движении отдельной молекулы. Более того, и физическая схема, и математическое описание основывается на представлении о том, что свойства текущей жидкости непрерывно меняются от точки к точке. То же самое можно сказать и о перераспределении энергии в термодинамическом процессе, описываемое первым законом термодинамики:

$$dQ = dU + dL ,$$

где dQ , dU и dL – теплота, внутренняя энергия и работа процесса.

К этой группе моделей можно отнести такие науки как: теория упругости, теории теплопроводности и диффузии, химическая термодинамика и

ряд других.

Уравнение теплопроводности:

$$dQ = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y} + \frac{\partial t}{\partial z} + \frac{\partial t}{\partial \tau} \right),$$

,

где λ – коэффициент теплопроводности среды;

$\partial t / \partial x, \partial t / \partial y, \partial t / \partial z, \partial t / \partial \tau$ – частные производные температурного поля по трем координатам и времени.

Уравнение Бернулли для идеальной жидкости:

$$H_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot q} + \frac{V_1^2}{2q} = H_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot q} + \frac{V_2^2}{2q},$$

где H – удельная потенциальная энергия положения;

$\frac{P}{\rho \cdot q}$ – удельная потенциальная энергия положения;

$\frac{V^2}{2q}$ – удельная кинетическая энергия.

Уравнение I закона термодинамики для потока:

$$\Delta Q = (U_2 - U_1) + (P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1) + M \cdot \frac{W_2^2 - W_1^2}{2} + M \cdot g \cdot (H_2 - H_1) + L_{техн},$$

где U – внутренняя энергия потока;

P – удельное давление;

V – удельный объем;

M – массовый расход;

W – скорость потока;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

H – удельная потенциальная энергия положения;

$L_{техн}$ – техническая работа потока.

Необходимо отметить, что каждый из перечисленных физических процессов может быть описан и на основе молекулярных представлений. Но такое описание, как правило, получается неизмеримо более сложным.

Достоинство модели сплошной среды состоит в том, что при ее исследовании может быть использован такой мощный и прекрасно разработанный математический аппарат, как дифференциальные и интегральные исчисления.

Удобства, получаемые при использовании модели сплошной среды, столь велики, что таким же образом часто рассматривают объекты, состоящие не из молекул, а из гораздо более крупных частиц.

Так, например, течение эмульсии по трубе рассматривается как течение однородной жидкости, которая характеризуется некоторой эффективной вязкостью. Такая вязкость сложным образом зависит от свойств обеих фаз и размеров частиц.

Также может быть описано движение порошкообразных и сыпучих материалов при их пневмотранспортировке.

Подобные модели, упрощенно представляющие многофазную систему как однородную, называют псевдогомогенными моделями [1].

1.1.6 Способы моделирования: теория подобия, как аппарат моделирования

Определим роль теории подобия в моделировании. Подобие – это условие, при котором возможен количественный перенос результатов опыта с модели на оригинал. Более того, подобие модели и оригинала дает нам правило такого переноса:

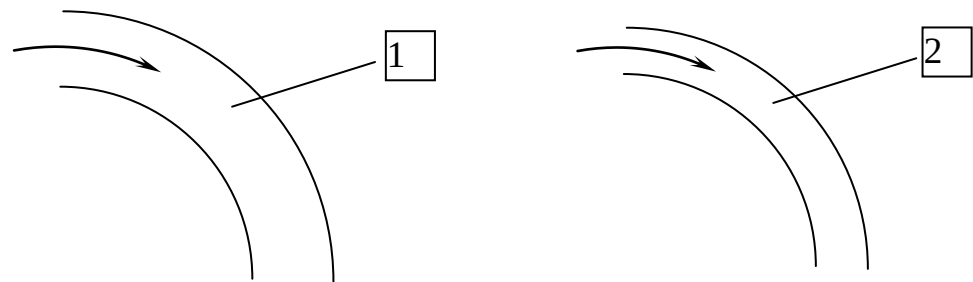
– по первой теории подобия одноименные критерии подобия в сходственных точках подобных объектов (модели и оригинал) равны. То есть количественный перенос сводится к тривиальному приравниванию критериев подобия.

Таким образом, при моделировании на основе метода подобия критерии подобия играют двоякую роль:

- во первых, на основе этих критериев определяют какой должна быть модель, чтобы обеспечить условия моделирования;
- во вторых, значения этих критериев и есть та количественная мера, которая переносится с модели на оригинал.

Рассмотрим характерный пример: канал оригинал и модели

$$Re_{1(ор)} = Re_{2(мод.)}$$



1, 2 – сходственные точки.

Рисунок 1 – Сравнительная схема оригинала и модели

Необходимо найти распределение скоростей жидкости в горизонтальном канале сложной формы и скорости в разных его точках, например для предсказания возможности отложения осадков.

Прежде чем строить канал, необходимо знать это распределение и если оно окажется неудачным, то форму канала потребуется изменить. С этой целью, в начале, распределение изучают на модели.

Каковы должны быть форма и размеры модели канала?

Форма модели определяется условиями геометрического подобия, а размеры соотношениями целесообразности: большая модель дорога, а на маленькой резко возрастет роль мелких погрешностей и побочных факторов.

Какова должна быть скорость жидкости в модели. В данном случае подобие определяется критерием Рейнольдса:

$$\frac{\omega_{op} \cdot \ell_{op}}{V_{op}} = \frac{\omega_{mod} \cdot \ell_{mod}}{V_{mod}}, \quad (1.1)$$

где ω – средняя скорость в канале.

Удобно использовать на модели ту же жидкость, что и в оригинале (особенно, если это вода). Тогда $v_{op} = v_{mod}$ и, следовательно:

$$\omega_{op} \cdot \ell_{op} = \omega_{mod} \cdot \ell_{mod}; \quad (1.2)$$

$$\frac{\omega_{mod}}{\omega_{op}} = \frac{\ell_{op}}{\ell_{mod}}. \quad (1.3)$$

Получили, что скорость воды в модели должна быть обратно пропорциональна ее размеру: чем меньше модель, тем больше скорость. Если условие (1.3) соблюдено, то распределение скоростей в модели подобно их распределению в оригинале, и значения критерия Рейнольдса в сходственных точках равны.

В рассмотренном примере сравнение модели и объекта осуществлялось по одному критерию. В случаях, когда сравнение проводят по двум и более критериям, построить модель оказывается крайне трудно, а иногда и, просто, невозможно.

Например, в ходе анализа критериев может выясниться обстоятельство, что для моделирования ускорения надо создать $1000 \cdot g_{op}$ – величину, далеко превышающую технические возможности. Другим вариантом нереальной задачи может служить вывод о необходимости развития скорость объекта 1000 м/с [1].

1.1.7 Метод аналогии и его использование при моделировании

Аналогичными называются объекты и процессы, описываемые аналогичными уравнениями.

Уравнения аналогичны, если они содержат разные физические величины, но все операторы (знаки алгебраических действий, символы функции, символы дифференцирования и интегрирования и т.д.) в них совпадают и следуют в одном и, том же, порядке.

Что характерно – в математике мы по существу не имеем дела с физическими величинами, а оперируем лишь символами их обозначающими.

Поэтому аналогичность уравнений, описывающих различные физические объекты, приводит к одинаковому распределению численных значений этих величин в пространстве и времени, хотя эти значения отображают разные физические величины [1].

Процесс фильтрации	Прохождение электрического тока	Тепловой поток
$\vec{\omega} = -\frac{\overrightarrow{grad}P}{R_{\text{филтр.}}}, \text{ м/с}$	$\vec{i} = -\frac{\overrightarrow{grad}u}{R_{\text{эл.}}}, \text{ а}$	$\vec{q} = -\frac{\overrightarrow{grad}t}{R_{\text{терм.}}}, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$
Закон Дарси-Вейсбаха	Закон Ома	Закон Ньютона-Рихмана

Рассмотрим характерный пример.

Необходимо исследовать процесс нестационарного распространения тепла вдоль длинного стержня (температура стержня меняется и по длине и по времени).

Распределение температуры по длине в условиях нестационарного процесса описывается уравнением Фурье:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a_T \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \ell^2}, \quad (1.4)$$

где $a_T = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho}$, [м²/с] – коэффициент температуропроводности;

τ – время;

ℓ – длина;

T – температура.

Уравнение, описывающее нестационарную электропроводность проводника, обладающего сопротивлением (R) и емкостью (C), имеет вид:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{1}{R \cdot C} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial \ell^2}. \quad (1.5)$$

Аналогичность уравнений (1.4) и (1.5) очевидна, следовательно, тепловой оригинал можно моделировать электрической моделью.

Критерий подобия для оригинала – число Фурье:

$$F_o = \frac{a \cdot \tau}{\ell^2}. \quad (1.6)$$

Соответствующий критерий для модели:

$$\Pi_9 = \frac{1 \cdot \tau}{R \cdot C \cdot \ell^2} . \quad (1.7)$$

Условие подобия это равенство критериев:

$$\frac{a \cdot \tau_{op}}{\ell_{mod}^2} = \frac{\tau_{mod}}{R \cdot C \cdot \ell_{mod}^2} , \quad \frac{a_{op} \cdot \tau_{op}}{\ell_{op}^2} = \frac{\tau_{mod}}{R_{mod} \cdot C_{mod} \cdot \ell_{mod}^2} . \quad (1.8)$$

Если оригинал не очень велик, то может оказаться удобным сделать модель приблизительно в натуральную величину.

Тогда:

$$a_{op} \cdot \tau_{op} = \frac{\tau_{mod}}{R_{mod} \cdot C_{mod}} , \quad (1.9)$$

или

$$\frac{\tau_{mod}}{\tau_{op}} = a_{op} \cdot R_{mod} \cdot C_{mod} . \quad (1.10)$$

Для общеупотребительных значений a , R , C их произведение составляет величину порядка $10^{-5} \div 10^{-9}$.

Следовательно, предложенная электрическая модель чрезвычайно удобна, так как многократно сокращает время проведения исследования.

1.1.8 Моделирование с помощью ЭВМ

Применение аналогии расширяет возможности моделирования, но не снимает трудностей, связанных с обеспечением подобия физической модели

и оригинала. Аналоговую модель оригинала большой сложности построить не удастся.

Преодолеть эти препятствия и разработать методы моделирования сложных тепло-массообменных процессов возможно, если при исследовании отказаться не только от физической идентичности модели и оригинала, но и от их подобия во времени и пространстве. Но тогда возникают вопросы:

- как строить модель?;
- будет ли это модель вообще?;
- что ее будет объединять с оригиналом?

Обратимся к сформулированным выше требованиям, предъявляемым к процессу моделирования – это экономичность и возможность переноса данных с модели на оригинал, что подтверждается или отвергается практикой.

Для практической технологии совершенно безразлично, с помощью каких технических средств реализуются эти требования. Более того, если можно решить задачу «в уме», не прибегая к моделированию, тем лучше.

В достаточно простых случаях расчетный метод, несомненно, предпочтительнее моделирования, потому что дешевле сосчитать, чем строить модель и экспериментировать. Например, для испытания противоударного устройства наручных часов, необходимо узнать: какую скорость будут иметь часы, бросаемые с различной высоты? Для этого достаточно воспользоваться уравнением свободного падения Ньютона:

$$\omega = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} . \quad (1.11)$$

В данном случае есть математическая модель, но нет процесса моделирования. Это не будет моделированием, так как моделирование это экспериментальный метод, связанный с работой модели, а при решении уравнения (1.11) эксперимент отсутствовал.

По мере развития науки и совершенствования технологических процессов усложняются и математические модели. Часто складывается такая ситуация, когда математическая модель есть, но решить это сложнее уравнение или систему уравнений человеку не под силу или крайне сложно. Например – прочностные модели в авиастроении в 50-е и 60-е годы описывались системами из $8 \div 10$ дифференциальных уравнений, для решения которых требовалось более месяца.

В середине XX века число не решаемых задач возрастало лавинообразно. Создавалось критическое положение, когда огромный потенциал, накопленный наукой и практикой, невозможно было использовать. Выход из этого кризиса, как известно, был найден с появлением быстродействующих вычислительных машин.

Рассмотрим процедуру решения технологической задачи:

- а) расчетным путем;
- б) на основе моделирования.

В первом случае главная часть работы проводится в уме (бумага и калькулятор играют лишь вспомогательную роль): выбирается физический подход, метод решения, подбираются системы уравнений и т.д.

Во втором – решение получают, включая в работу некоторое техническое устройство (стенд) – материальную модель, созданную на основе мысленной модели процесса. ЭВМ осуществляет перебор функций, систем уравнений в поисках оптимального описания. Результаты работы этого устройства позволяют получить решение. С одной стороны, это не физический эксперимент, а расчет. Но, в то же время, для нас не важно, как работает та или иная установка. Важнее, кто или что работает – приходится ли всю задачу решать человеку или значительная часть работы переложена на техническое устройство (модель или ЭВМ).

В этом смысле применение ЭВМ имеет существенное сходство с моделированием: здесь мы на основе мысленной модели процесса – его матема-

тического описания – формулируем некоторую установку для ЭВМ, то есть, вводим в нее программу. Результатом работы этой программы является итоговое решение.

1.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 1.1. Исследовать процесс нестационарного распространения тепла вдоль медного стержня (температура стержня меняется и по длине и по времени) длиной 1 м и определить: во сколько раз сократится время на проведение исследований, если опыты проводить на аналоговой модели по изучению электропроводности материала?

1.3 Вопросы к практическому занятию

1. Всегда ли возможно создание физической лабораторной модели?
2. Какие научные исследования называются системными?
3. В чем заключается сущность моделирования с помощью ЭВМ?
4. Какие физические объекты называют аналогичными?
5. Какие уравнения называют аналогичными?
6. Почему аналогичность уравнений, описывающих различные физические объекты, приводит к одинаковому распределению численных значений этих величин в пространстве и времени?

Тема 3. ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА

ПЗ 2. ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА

2.1 Теоретическая часть

В общем случае зависимая переменная (y) является функцией совокупности независимых факторов (x_1, x_2, x_3 и т.д.), каждый из которых имеет свою область изменения. Если число независимых факторов равно (n), то искомая функция (y), зависимая переменная, отображается в пространстве $(n+1)$ – го измерения.

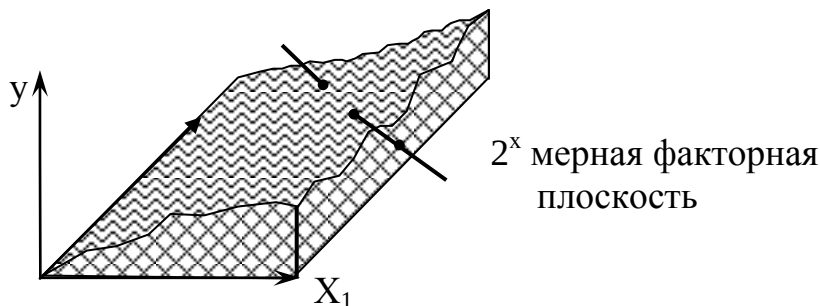
План эксперимента указывает расположение опытных точек на n -мерной факторной поверхности независимых переменных, или, иными словами, условия всех опытов, которые следует провести.

Так например, если число факторов равно двум, то графическая зависимость отображается в объеме: $y = f(x_1, x_2)$.

В этом трехмерном пространстве зависимости (Y) от всех (X) соответствует трехмерная поверхность, которую обычно называют поверхностью отклика.

Результаты опытов рассматривается как отклик системы на условия расстановки опытов по координатной сетке факторной плоскости [1].

$y = f(x_1, x_2)$ – пространство третьего измерения



Чаще всего план эксперимента задается в виде матрицы планирования, которая представляет собой прямоугольную таблицу, каждая строчка которой отвечает условиям определенного опыта, а каждый столбец – различным значениям какой-то из независимых переменных в разных опытах.

При построении планов стремятся к их оптимизации. Сущность оптимизации состоит в следующем:

- при заданном числе опытов желательно получить максимальную точность предсказания (минимальную дисперсию) исследуемой области;
- обеспечить требуемую (заданную) точность предсказания минимальных чисел опытов;
- обеспечить независимость (некоррелированность) оценок влияния различных определяющих факторов ($X_1, X_2, \dots, X_n$).

Опыт показывает, что не всегда удается совместить в одном плане все желаемые свойства.

2.1.1 Планы первого порядка

Планы первого порядка служат для построения математических описаний в виде линейных полиномов (линейных уравнений регрессии):

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n \quad . \quad (2.1)$$

Порядок построения плана следующий.

Выбирается центр исследования области (центр плана) и в него переносится начало координат. Затем выбирается интервал варьирования по каждой переменной – расстояние по каждой оси между экспериментальными точками. Необходимо ответить, что выбор центра плана и интервала варьирования лежит вне математической теории: этот этап задачи должен решаться экспериментатором на основе знания объекта исследования.

На следующем этапе производят операцию приведения (кодирования) переменных. Она заключается в том, что все координаты центра плана приравниваются к нулю, а интервалы варьирования принимаются за единицу.

Кодирование удобно тем, что вся обработка результатов опытов приводится в стандартной форме, не зависящей от конкретных условий задачи. Это существенно упрощает вычисления.

Все многообразие независимых определяющих факторов (скорость, вес, расход и т.д.) приводится к единой форме (в центре плана они равны нулю), а интервал варьирования любого фактора принимают равным ± 1 .

Переход от некодированных (натуральных) значений переменных (u_{ji}) к кодированным (x_{ji}) и обратно производится по формулам [1]:

$$x_{ji} = \frac{u_{ji} - u_{jo}}{\Delta j} ; \quad (2.2)$$

$$u_{ji} = u_{jo} + x_{ji} \cdot \Delta j , \quad (2.3)$$

где x_{ji} – натуральное значение j – го фактора в i –м опыте;

u_{jo} – натуральное значение j – го фактора в центре плана;

Δj – интервал варьирования j – го фактора в натуральном выражении.

При наличии двух переменных (x_1 и x_2) наиболее употребительный прием состоит в расположении точек на факторной плоскости в вершинах квадрата, центр которого совпадает с центром плана, а стороны параллельны осям и равны двум единицам.

Схема расположения опытных точек на факторной плоскости показана на рисунке 2.

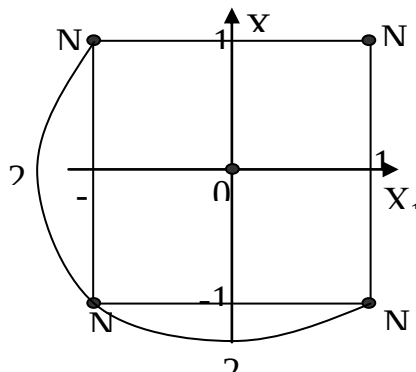


Рисунок 2 – Схема расположения опытных точек на факторной
плоскости

Матрица плана эксперимента представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица плана эксперимента первого порядка

№ опыта N_i		Кодированное значение j – го независимого переменного фактора	
		X_1	X_2
i	1	+1	+1
	2	+1	–1
	3	–1	+1
	4	–1	–1

На практике для сокращения записи часто вместо (+1), (–1) пишут просто (+) или (–).

План построен таким образом, что каждая независимая переменная принимает в опытах только два значения: +1, либо –1 или как говорят, варьируется на 2-х уровнях: нижнем и верхнем. При этом в четырех опытах присутствуют все возможные парные комбинации обоих факторов на двух уровнях.

Опыты, поставленные по такому плану, называют полным факторным экспериментом на двух уровнях для двух факторов (п.ф.э. 2^2).

При проведении опытов по схеме полно-факторного эксперимента расчет коэффициентов уравнения (1.1) методом наименьших квадратов резко упрощается. Причем из этих опытов можно найти коэффициенты не только линейного уравнения, но и уравнения, содержащего ещё один член:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 . \quad (2.4)$$

В теории планирования эксперимента члены уравнения, содержащие произведения факторов, называют взаимодействиями. Важность учета взаимодействий заключается в том, что они показывают, насколько изменение одного фактора влияет на величину другого.

Расчет коэффициентов ведется следующим образом. К матрице плана первого порядка добавляют вспомогательные столбцы:

- столбец некоторого фиктивного фактора x_0 , который во всех опытах имеет значение $+1$;
- столбец, в каждой строчке которого будет стоять произведение $x_1 \cdot x_2$ (очевидно, что эти произведения во всех опытах также примут значения $+1$, либо -1);
- столбец значений функции отклика (Y) (результатов опытов испытаний).

Номера строк (опытов) обозначают через (i), а номера столбцов (переменных факторов) – через (j).

В результате, получаем дополнительную расширенную матрицу плана, представленную в таблице 2.

Таблица 2 – Расширенная матрица плана первого порядка

№ опыта N_i	Кодированное значение j – го фактора				Численные значения функции отклика Y_i
	X_0	X_1	X_2	$X_1 \cdot X_2$	
1	+1	+1	+1	+1	Y_1
2	+1	+1	-1	-1	Y_2
3	+1	-1	+1	-1	Y_3
4	+1	-1	-1	+1	Y_4

Коэффициенты уравнения регрессии рассчитываются по формуле:

$$\theta_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} \cdot y_i}{4 \cdot (2^n)}, \quad (2.5)$$

где n – количество независимых факторов ($X_1; X_2$).

Применительно к рассматриваемой двух факторной зависимости ($n=2$) расчетные уравнения могут быть представлены в виде:

$$\theta_0 = \frac{x_{01} \cdot y_1 + x_{02} \cdot y_2 + x_{03} \cdot y_3 + x_{04} \cdot y_4}{4} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4}; \quad (2.6)$$

$$\theta_1 = \frac{x_{11} \cdot y_1 + x_{12} \cdot y_2 + x_{13} \cdot y_3 + x_{14} \cdot y_4}{4} = \frac{y_1 + y_2 - y_3 - y_4}{4}; \quad (2.7)$$

$$\theta_2 = \frac{x_{21} \cdot y_1 + x_{22} \cdot y_2 + x_{23} \cdot y_3 + x_{24} \cdot y_4}{4} = \frac{y_1 - y_2 + y_3 - y_4}{4}; \quad (2.8)$$

$$\theta_{12} = \frac{y_1 - y_2 - y_3 + y_4}{4}. \quad (2.9)$$

2.1.2 Планы второго порядка

Для повышения точности описания процесса широко используются полиномы второй степени, то есть нелинейные уравнения регрессии.

Рассмотрим технику построения матрицы и расчета коэффициентов регрессии некомпозиционных планов второго порядка.

Обязательным условием составления плана является варьирование каждого из факторов на трех уровнях: верхнем (+1), нижнем (−1) и в центре плана (0).

Матрица некомпозиционного плана эксперимента второго порядка для трех независимых факторов представлена в таблице 3.

Уравнение регрессии второго порядка имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 \quad (2.10)$$

Коэффициенты уравнения регрессии могут быть определены с помощью метода наименьших квадратов.

Таблица 3 – Матрица некомпозиционного плана второго порядка

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	X_1^2	X_2^2	X_3^2	Y_i
1	+1	+1	+1	0	+1	0	0	+1	+1	0	1,76
2	+1	+1	-1	0	-1	0	0	+1	+1	0	4,30
3	+1	-1	+1	0	-1	0	0	+1	+1	0	0,41
4	+1	-1	-1	0	+1	0	0	+1	+1	0	2,68
5	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,90
6	+1	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	0	2,10
7	+1	+1	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1	3,26
8	+1	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1	0,56
9	+1	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1	1,78
10	+1	0	0	0	0	0	0	+1	+1	0	2,09
11	+1	0	+1	+1	0	0	61	0	+1	+1	0,80
12	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	+1	+1	1,71
13	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	+1	+1	2,68
14	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	+1	+1	4,68
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,99

В технике планирования эксперимента в настоящее время широко применяют формулы расчёта коэффициентов уравнения, полученные Боксом и Бенкиным. Эти формулы применены для трёх, четырёх, пяти и семи факторов. В формулах использованы следующие обозначения:

Y_{oi} – значение функции отклика в i -ом опыте центра плана;

i – номер параллельного опыта в центре плана;

i – номер опыта в матрице планирования;

j, l – номер факторов;

X_{ji}, X_{li} – кодированные значения j -го и l -го факторов;

N – число опытов в матрице планирования;

y_i – значение функции отклика в i -ом опыте.

m – число опытов в центре плана;

n – число факторов.

$$b_0 = \frac{1}{m} \cdot \sum_{n=1}^m y_{on}; \quad (2.11)$$

$$b_j = A \cdot \sum_{i=1}^N X_{ji} \cdot y_i; \quad (2.12)$$

$$b_{ji} = D \cdot \sum_{i=1}^N X_{ji} \cdot X_{li} \cdot y_i; \quad (2.13)$$

$$b_{jj} = B \cdot \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 \cdot y_i + C \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 \cdot y_i - \frac{1}{p \cdot m} \sum_{n=1}^m y_{on}. \quad (2.14)$$

Значения коэффициентов (A, B, C, D, p) приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения констант для расчета коэффициентов регрессии и их дисперсий

Число факторов	A	B	B_1	C	D	p
3	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{13}{48}$	$-\frac{1}{16}$	$\frac{1}{4}$	2
4	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{16}$	$-\frac{1}{48}$	$\frac{1}{4}$	2
5	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{11}{96}$	$-\frac{1}{96}$	$\frac{1}{4}$	2

7	$\frac{1}{24}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{4}{54}$	$-\frac{1}{144}$	$\frac{1}{8}$	3
---	----------------	----------------	----------------	------------------	---------------	---

B_1 – константа, зависящая от числа факторов.

2.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 2.1. Требуется составить матрицу п.ф.э 2^2 на 2-х уровнях для двух переменных и вывести уравнение регрессии первой степени, если значения искомой функции (коэффициента степени регенерации – n_p) задаются как полученные из эксперимента (при $X_1 = +1; +1; -1; -1$; $n_p = 0,97; 0,91; 0,70; 0,65$). Величина коэффициента степени регенерации в центре плана $n_{рцп} = 0,89$.

Значения параметров в центре плана:

$X_1 = 4$ г-экв/л кат; $X_2 = 10\%$ (1710 мг-экв/л).

Шаг (Δj), используемый при составлении плана, по координатам:

для X_1 : $\Delta j = \pm 2$ г-экв/л кат;

для X_2 : $\Delta j = \pm 3\%$.

Запустить программу расчета коэффициентов уравнения регрессии, составленную на основе уравнений (2.5 ÷ 2.9) и получить результирующие данные.

2.3 Вопросы к практическому занятию

1. Каким уравнением регрессии описываются планы первого порядка?
2. Каким уравнением регрессии описываются планы второго порядка?
3. Какие планы второго порядка называются некомпозиционными?
4. С какой целью используются планы второго порядка?
5. Какое число факторов может присутствовать в формулах расчёта коэффициентов уравнения нелинейной регрессии, полученных Боксом и Бенкиным?
6. На скольких уровнях может варьироваться каждый из факторов при составлении матрицы некомпозиционного плана второго порядка?

Тема 4. ПРЕДМЕТ МЕНЕДЖМЕНТА КАК НАУКИ

ПЗ 3. ПРЕДМЕТ МЕНЕДЖМЕНТА КАК НАУКИ

3.1 Теоретическая часть

3.1.1 Научные основы менеджмента

Известное положение, что **наука – это непосредственно производительная сила**, подтверждается коренными качественными преобразованиями в технике, технологии и самом процессе производства. Управление в таких условиях неизбежно ведет к необходимости научного подхода, эффективному использованию всего нового и передового. С середины XX в. происходит резкое ускорение научно-технического прогресса, оказавшего воздействие не только на науку и технику, но и на все стороны общественной жизни.

Возросли требования к уровню образования трудящихся, их квалификации; культурному уровню; возможности быстро восстанавливать свои силы, затраченные на работе в условиях стрессовых ситуаций; управлению сложными системами и устройствами; работе в зонах повышенной опасности, радиации и т.д. **Общественное производство стало невозможным без прочной и эффективной связи между наукой, техникой и управленческой деятельностью людей.** Значительно возросла степень ответственности руководителей за результаты своего труда. Управление производственными процессами поднялось на новый уровень, когда человек стал управлять не только действиями машин и механизмов, но и целыми системами, управляющими этой техникой [2].

Потребности роста производительности общественного труда, эффективности экономического выбора в условиях ограниченности ресурсов, значительные затраты на военные цели обусловили необходимость интенсивных

научных разработок и исследований в естественных, общественных, технических и военной науках. Дифференциация и интеграция в науке открыли возможности для глубоких исследований в области управления как в целом научно-техническим прогрессом, так и в конкретных вопросах научной организации труда и планирования (например, стратегический и системный анализ, мотивация труда и др.).

В нашей стране эта работа осуществлялась и координировалась Академией наук (основана в 1724 г., до 1917 г. – Петербургская академия наук, с 1925 г. – АН СССР, ныне Российская академия наук – РАН). Среди ее 16 отделений, таких как математики, общей физики и астрономии, ядерной физики и других, – имеется отделение механики и процессов управления. Научная работа в области управления велась академиями наук союзных республик и многими отделениями АН СССР. Были созданы Совет по научной организации труда (1923), Центральный институт труда, более 50 НИИ по НОТ. В этих организациях работали В.В. Куйбышев, П.М. Керженцев, А.К. Гостев и другие ученые. До 90-х гг. в стране существовали крупные научно-исследовательские центры, научно-исследовательские институты, научные лаборатории и отделы. Были сформированы направления научных исследований, в том числе велись научные разработки и проблем планирования, экономического стимулирования и управления социалистическим производством [2].

Многие крупные государственные издательства ежегодно публиковали учебную и научную литературу по данной тематике (учебники, монографии, сборники статей, рефераты докторских и кандидатских диссертаций, брошюры), сотни статей по проблемам управления печатались в периодической печати. Эта работа началась еще в 20-х гг., когда было образовано издательство АН СССР «Наука». Исследования ученых – философов, экономистов, социологов, психологов, математиков и кибернетиков, инженерных специально-

стей – дали богатейший материал фундаментального и прикладного значения, на основе которого сформировалась отечественная управленческая наука [2].

Развитие управленческой науки было обусловлено и осуществлялось в условиях господства общественной формы собственности, директивных методов руководства без должного учета действия рынка, конкуренции и взаимодействия различных видов и форм собственности, характерных для западного мира. Общество не смогло надлежащим образом использовать огромное богатство отечественной управленческой науки в целях улучшения народного хозяйства, страна пришла к дефицитной экономике, а в 90-х гг. – к кризису.

По иному складывался процесс становления и развития науки управления – менеджмента – в странах Запада и Японии. Научный интерес к менеджменту резко возрос в связи с острейшими экономическими кризисами, депрессией, финансовыми потрясениями и жесткой конкурентной борьбой. Крупные хозяйственные структуры были заинтересованы в таких научных разработках, которые отвечали бы потребностям практики, помогали бы эффективно управлять, предвидеть ход развития экономической ситуации, сделали бы так, чтобы работала формула «затраты – выгоды» и т.д.

Научные работы по вопросам управления, написанные ранее, начиная с Ф. Тейлора, А. Файоля и более поздних – М.П. Фоллет, Э. Мэйо, в которых были сформулированы главные направления работы управляющего предприятием и другие управленческие вопросы, уже к началу 30-х гг. не устраивали крупных промышленников и банкиров.

В США после Второй мировой войны значительно активизировалась деятельность ученых по управленческим проблемам. Была образована так называемая бесприбыльная научно-исследовательская корпорация «РЭНД

корпорейшн», обслуживающая научными разработками военное ведомство и крупные монополии, а также экономический совет при президенте. Ученые ряда университетов и других высших учебных заведений по заказам правительства и крупных фирм начали проводить исследования проблем управленческого труда. Вышли крупные фундаментальные и прикладные работы американских ученых – экономистов, социологов и психологов по вопросам менеджмента [2].

Определились и основные направления этих исследований. Глубоко и на высоком научном уровне были разработаны вопросы стратегического управления и планирования (например, концепция – Планирование, прогнозирование, разработка бюджета и др.), инновационный менеджмент, административный (кадровый) менеджмент, финансовый менеджмент и т.д. Разработаны теории игр, теория систем и системного анализа, теории мотивации, модели линейного программирования, принципы управления гибкими автоматизированными системами, принципы и методы проектирования организаций и т.д.

3.1.2 Предмет менеджмента

Предмет менеджмента как науки определился исторически сравнительно недавно – в середине XX в., однако его методологические истоки уходят в прошлое. Менеджмент вобрал в себя научные основы управления и результаты управленческой деятельности многих поколений людей. Процесс управления имел место всегда, как только возникло человеческое общество.

В дошедших до нас античных источниках («Домострой» Ксенофонта, «Политика» Аристотеля, «О сельском хозяйстве» Колумелы и т.д.) и ряде других, более поздних работах римлян излагаются взгляды на управление и юридические нормы, правила и принципы в отношениях «управляющие – управляемые» [2].

С развитием этих взглядов изменялось содержание управленческих подходов, начиная от признания справедливости рабства и управления рабами, до более поздних, которые были основаны на идеях раннего христианства, порицавших рабское угнетение, ростовщичество и проповедовавших равенство и справедливость в отношениях между людьми.

В средневековье основы управления описаны в трудах религиозных деятелей, монахов, организовавших достаточно развитое по тому времени сельскохозяйственное производство и поддерживавших ремесла. Однако управление, покоящееся на внеэкономическом принуждении, не отвечало пробиравшимся рыночным отношениям и наемному характеру труда. Возникли идеи, которые называют утопическими, где управление производством мыслилось на основе справедливого распределения и равенства его участников. Томас Мор, Томмазо Кампанелла, Роберт Оуэн и другие пытались обосновать принципы и методы такого управления.

Дальнейший период общественного развития выдвинул целую плеяду исследователей сущности новых экономических явлений, рыночных отношений, в том числе и возникших проблем управления производством, новых взглядов на отношения управляющего и управляемых, господства и подчинения.

Развитие новых отношений собственности – отношений собственника средств производства и наемного рабочего, привело к появлению проблем, без решения которых производственная деятельность зачастую не приносила желаемых результатов. Противоречия между наемными рабочими и собственниками капитала вели к неизбежным экономическим потерям и социальным потрясениям. Выход из такого положения управляющие как практики, так и теоретики, начали искать в совершенствовании отношений распределения, более эффективных принципах стимулирования труда, изменении форм его оплаты, цены труда, лучшей организации производственного про-

цесса, обучении рабочих более интенсивным и производительным приемам и методам выполняемой работы и других способах сглаживания возникших противоречий.

В таких условиях **труд управляющего стал приобретать все более научный характер**, требовал экспериментов, обмена опытом, научной оценки управленческих решений и других научных исследований с последующей проверкой их практикой. Возник новый, научный подход к управлению, получивший название *тейлоризм* – по имени его основателя американского инженера Ф. Тейлора. Широкое применение идеи тейлоризма нашли в работе крупных американских предприятий, распространились по всем европейским странам, в том числе и в России. В результате их использования в управлении производством был сделан первый шаг в становлении менеджмента как науки.

Что явилось методологической основой возникшей науки об управлении? Ответить на данный вопрос не так просто, как представляется с первого взгляда. Нет сомнения в том, что Тейлор и его последователи были знакомы с господствовавшими в то время экономическими идеями и теориями. Крупная работа К. Маркса «Капитал» в это время была уже широко известна. Исследование отношений капиталиста и рабочих давалось в его труде по всем важнейшим направлениям. Сегодня некоторые деятели пытаются умалить вклад Маркса в методологические основы управления. Но достаточно внимательно посмотреть хотя бы первый том «Капитала», как станет ясно, что вклад этот значителен. В нем рассмотрены вопросы процесса труда, стоимости рабочей силы, рабочий день и его пределы, дневной и ночной труд, борьба за нормальный рабочий день, проблемы кооперации, разделение труда, фабричное законодательство, формы и системы заработной платы и др. Как видно даже из простого перечисления проблем, охваченных научным анали-

зом в «Капитале», все они касаются управленческого труда, решение их на практическом уровне составляет предмет заботы и внимания управляющих.

Вместе с тем период становления менеджмента совпал с развитием нового направления в экономической науке – неоклассическим. В работах ученых этого направления большое внимание уделялось проблемам экономической практики, роли рынка в экономике, образования цены товара как соотношения спроса и предложения, концепции факторов производства, субъективным оценкам материальных благ, свободе их выбора и другим экономическим явлениям. Все это также стало составной частью методологических основ менеджмента.

3.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 3.1. На основе анализа теоретического материала выделить категории и научные понятия, отражающие сущность управленческого труда, которые присущи только менеджменту?

- управление – как процесс воздействия на работников в интересах достижения поставленных целей;
- прогнозирование вероятности события;
- объект управления – люди, техника и технологии, предприятие и др.;
- субъект управления – личность или кибернетическое устройство;
- организация как сфера деятельности менеджера;
- ценовая политика;
- планирование, координация, мотивация и контроль – функции менеджмента;
- стиль управления.

3.3 Вопросы к практическому занятию

1. Почему наука – это непосредственно производительная сила?
2. В какой исторический период произошло резкое ускорение научно-технического прогресса?
3. Почему общественное производство стало невозможным без прочной и эффективной связи между наукой, техникой и управленческой деятельностью людей?
4. Какие возможности открыла дифференциация и интеграция в науке?
5. На результатах каких научных исследований сформировалась отечественная управленческая наука?
6. Почему наша страна советского периода не смогла эффективно использовать огромное богатство отечественной управленческой науки в целях улучшения народного хозяйства?

Тема 5. ПЕРВЫЙ И ВТОРОЙ ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ, КАК ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКУЮ

ПЗ 4. ПЕРВЫЙ И ВТОРОЙ ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ, КАК ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКУЮ

4.1 Теоретическая часть

4.1.1 Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики является частным случаем всеобщего закона сохранения и превращения энергии в применении к случаю взаимопревращения тепловой и механической энергии.

Закон носит статистический характер, установлен опытным путем и является первым началом термодинамики.

Установлено, что взаимное превращение тепловой и механической энергии (работы) всегда происходит в эквивалентных количествах, что для m кг газа можно записать так: $Q = L$, Дж, а для 1 кг газа – так: $q = l$, Дж/кг.

Если обмен механической и тепловой энергией между рабочим телом и остальной системой происходит в неэквивалентных количествах, то избыток энергии расходуется на изменение внутренней энергии тела.

В этом, общем, случае первый закон термодинамики формулируется так: всякое изменение внутренней энергии тела в термодинамическом процессе равно алгебраической сумме количеств тепловой и механической энергии подведенных или отведенных к телу из внешней среды в данном процессе.

Если рассматривать наиболее важный для практики случай термодинамического процесса, в котором за счет подвода тепла к рабочему телу совершается работа, отдаваемая в окружающую среду, то первый закон тер-

модинамики может быть сформулирован более конкретно.

Тепло, подводимое к рабочему телу из окружающей среды, в термодинамическом процессе расходуется на изменение внутренней энергии тела и совершение работы, отдаваемой в окружающую среду.

Указанная формулировка 1–го закона термодинамики может быть записана в виде равенства для m кг газа в процессе 1–2 [3]:

$$Q = U_2 - U_1 + L, \text{ Дж}, \quad (4.1)$$

$$\text{а для 1 кг газа} \quad q = u_2 - u_1 + l. \quad (4.2)$$

Рассматривая бесконечно малый участок процесса 1–2 для 1 кг газа, получим уравнение 1–го закона термодинамики в дифференциальной форме:

$$Dq = du + dl. \quad (4.3)$$

$$\text{Так как: } dl = p \cdot dv, \quad \text{то } dq = du + p \cdot dv. \quad (4.4)$$

В приведенных уравнениях принято, что если тепло подводится из окружающей среды, а работа совершается рабочим телом, и отводится в окружающую среду, то их значения имеют положительный знак, в противном случае – знак отрицательный.

4.1.2 Второй закон термодинамики. Основные определения

Первый закон термодинамики утверждает положение об эквивалентности перехода тепловой энергии в механическую и обратно и устанавливает количественные соотношения между изменениями различных

форм энергии в системе, но не раскрывает условий и направления протекания процессов взаимопревращения различных видов энергии.

Второй закон термодинамики, так же как и первый, установлен из опыта наблюдений за явлениями природы и основан на следующих опытных положениях.

1. Тепло может переходить самопроизвольно только от более нагретых тел к телам менее нагретым. Обратный процесс требует затраты энергии, подводимой извне.

2. Механическая энергия (работа) всегда может быть превращена в тепловую полностью и без остатка, но превращение тепловой энергии в механическую работу может быть осуществлено только частично, при этом, остаток тепла должен быть возвращен в окружающую среду при более низкой температуре [3].

Из этих и других положений и был сформулирован второй закон термодинамики, устанавливающий условия, при которых происходит превращение тепловой энергии в механическую работу.

Тепловая энергия, сообщенная рабочему телу в процессе, не может быть полностью превращена в механическую работу. В этом процессе получения механической энергии из тепловой, часть тепловой энергии, полученной телом от окружающей среды при более высокой температуре, должна быть отдана в окружающую среду при более низкой температуре.

4.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 4.1. Сколько килограммов свинца можно нагреть от температуры 15°C до температуры его плавления $t = 327^{\circ}\text{C}$ посредством удара молота массой в 200 кг при падении его с высоты 2 м?

Предполагается, что вся энергия при падении молота превращается в тепло, целиком поглощаемое свинцом.

Теплоемкость свинца $c_p = 0,1256$ кДж/кг·К.

Задача 4.2. Определить изменение энтропии 3 кг азота в политропном процессе при изменении температуры от $t_1 = 100^\circ \text{C}$ до $t_2 = 300^\circ \text{C}$. Показатель политропы равен $n = 1,2$. Теплоемкости принять по молекулярно-кинетической теории. Изобразить процесс в p - v - и T - s -диаграммах.

4.3 Вопросы к практическому занятию

1. Баланс между какими энергетическими величинами устанавливает первый закон термодинамики?
2. Какой физический смысл вкладывается в знаки (+) и (–) для теплоты в уравнении первого закона термодинамики?
3. Какой физический смысл вкладывается в знаки (+) и (–) для работы в уравнении первого закона термодинамики?
4. Какой физический смысл вкладывается в знаки (+) и (–) для изменения внутренней энергии в уравнении первого закона термодинамики?
5. Почему второй закон термодинамики носит опытно-статистический характер?
6. Какое условие необходимо для возникновения термодинамического процесса в системе?
7. Какой «вечный двигатель» относится к «вечным двигателям» второго рода?

Тема 6. ИДЕАЛЬНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ

ПЗ 5. ИДЕАЛЬНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ

5.1 Теоретическая часть

Круговым процессом или циклом называют совокупность термодинамических процессов, в результате осуществления которых рабочее тело возвращается в исходное состояние. Эталонным циклом, коэффициент полезного действия которого имеет наивысшее значение, является цикл Карно, состоящий из двух изотерм и двух адиабат.

Цикл с подводом тепла при постоянном объеме (цикл Отто) состоит из двух адиабат и двух изохор.

Цикл с подводом при постоянном давлении (цикл Дизеля) состоит из двух адиабат, одной изобары и одной изохоры.

Цикл с комбинированным подводом тепла (цикл Тринклера) состоит из двух адиабат, двух изохор и одной изобары [3].

5.1.1 Характеристика цикла ДВС первой группы (цикл Отто)

Цикл состоит из двух адиабат и двух изохор. Вид цикла в $p-v$ и $T-S$ – диаграммах показан на рисунке 3. Характеристиками цикла являются:

– степень сжатия $\epsilon = \frac{V_1}{V_2}$;

– степень повышения давления $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$.

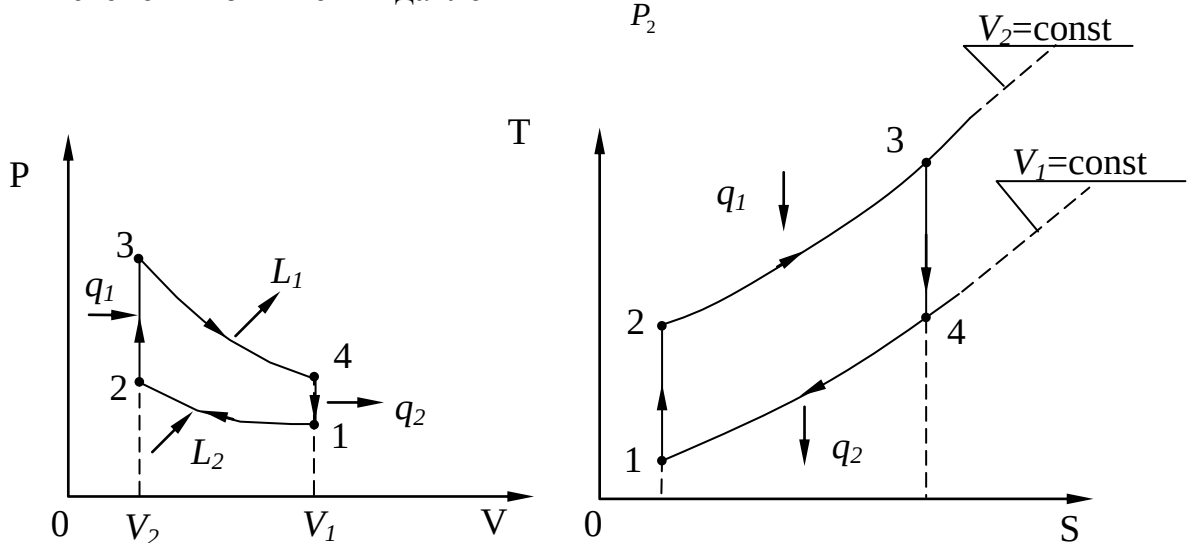


Рисунок 3 – Характеристика цикла ДВС с подводом тепла при постоянном объеме

ДВС первой группы работают на легких (легкоиспаряющихся) и газообразных топливах. Топливо поступает в рабочий цилиндр в смеси с воздухом. После сжатия смесь воспламеняется от электрического запала и горит почти мгновенно. Смесь топлива с воздухом образуется в специальном устройстве (карбюраторе) и поэтому ДВС первой группы называют двигателями с внешним смесеобразованием или карбюраторными.

Степень сжатия в этих двигателях ограничивается возможностью самовоспламенения смеси, зависит от рода топлива и составляет $\varepsilon=4\div 9$ [3].

5.1.2 Характеристика цикла ДВС второй группы (цикл Дизеля)

Цикл состоит из адиабат сжатия (1–2) и расширения (3–4), изобары подвода тепла (2–3) и изохоры отвода тепла (4–1). Вид цикла в $p-v$ и $T-S$ – диаграммах показан на рисунке 4. Характеристиками цикла являются следующие показатели:

– степень сжатия $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$;

– степень предварительного расширения $\rho = \frac{V_3}{V_2}$.

ДВС второй группы работают на тяжелых моторных топливах.

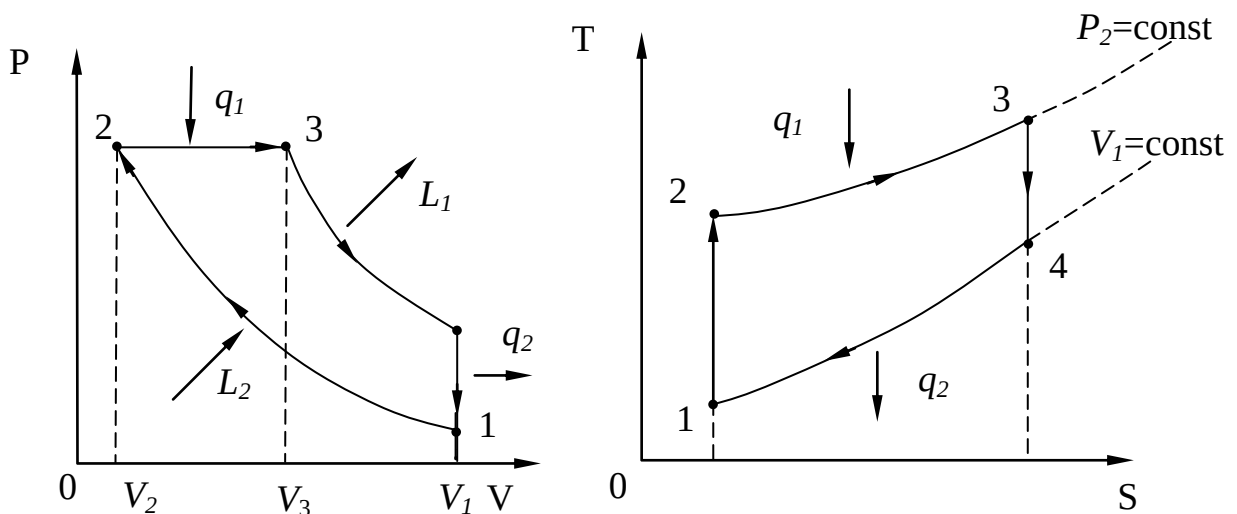


Рисунок 4 – Характеристика цикла ДВС с подводом тепла при постоянном давлении

Топливо впрыскивается в цилиндр топливным насосом высокого давления, после окончания сжатия воздуха в цилиндре по адиабате. Топливо самовоспламеняется за счет высокой температуры сжатого по адиабате воздуха. Дальнейшее горение топлива происходит уже при расширении газового объема в цилиндре, причем подача топлива регулируется таким образом, чтобы давление оставалось постоянным.

ДВС второй группы называются двигателями с внутренним смесеобразованием или дизелями (по фамилии изобретателя этого типа двигателя).

Степень сжатия в этих двигателях ограничивается следующими условиями:

минимальная – температурой воздуха в конце сжатия необходимой для самовоспламенения топлива, что достигается при $\varepsilon_{\min} = I2 \div I4$;

максимальная – предельными нагрузками на всю конструкцию ДВС, возрастающими при повышении давления до значения $\varepsilon_{\max} = 19 \div 20$.

Сравнение циклов ДВС первой и второй группы в $T-s$ – диаграмме (рисунок 5) показывает, что при одинаковых степенях сжатия (процесс 1–2) эффективность ДВС первой группы будет выше, так как выше оказывается среднеинтегральная температура подвода тепла в изохорном процессе:

$$T_{1p\,cp} < T_{1v\,cp}.$$

Следовательно, К.П.Д. циклов находится в соотношении $\eta_{tv} > \eta_{tp}$. То есть, тепло, подводимое при $V = const$, используется более эффективно.

Такое же сравнение, но проведенное при одинаковых конечных параметрах подвода тепла (условие $T_{max} = T_3'$), показывает, что выше будет эффек-

тивность ДВС второй группы, так как среднеинтегральная температура подвода тепла в изобарном процессе будет выше, чем в изохорном:

$$T_{1'p\text{cp}} > T_{1v\text{cp}}.$$

Следовательно $\eta'_{tp} > \eta_{tv}$, но при этом требуются более высокие степени сжатия, что допускается условиями работы ДВС второй группы.

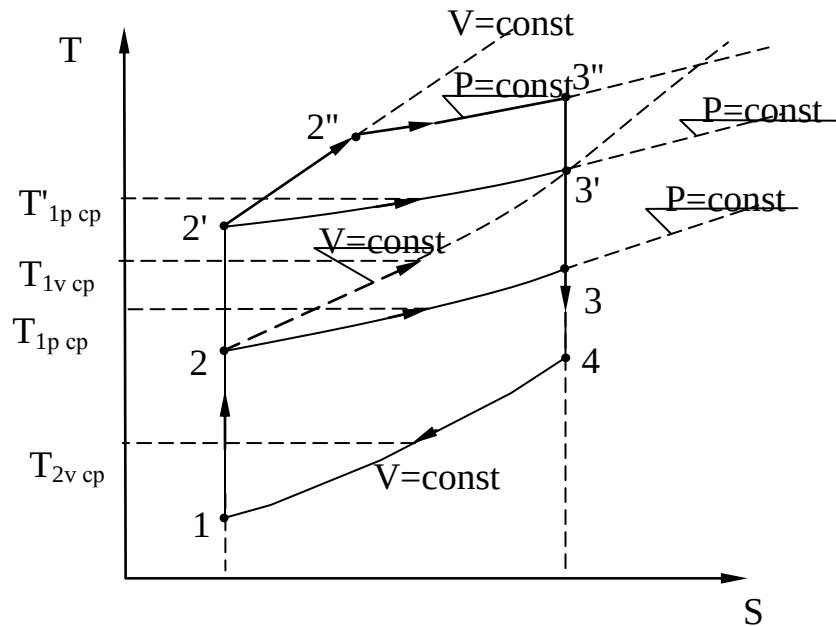


Рисунок 5 – Сравнительный анализ трех циклов ДВС

5.1.3 Характеристика цикла ДВС третьей группы (цикл Тринклера)

ДВС третьей группы имеют смешанный подвод тепла, при этом, вначале, для лучшего использования тепла, часть тепла подводится при $V=const$ до достижения максимально допустимых давлений (с точки зрения механической прочности), а остальное тепло подводится при $p=const$.

В настоящее время по этому циклу работают все поршневые ДВС, только с разным соотношением способов подвода тепла, у карбюраторных

двигателей большая часть тепла подводится при $V=const$, а у дизелей при $p=const$.

Цикл состоит из адиабат сжатия (1–2) и расширения (4–5), изохоры (2–3) и изобары (3–4) подвода тепла, а также изохоры отвода тепла (5–1). Вид цикла в $p-v$ и $T-S$ – диаграммах показан на рисунке 6. Характеристиками цикла являются следующие показатели:

– степень сжатия $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$;

– степень повышения давления $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$;

– степень предварительного расширения $\rho = \frac{V_4}{V_3}$.

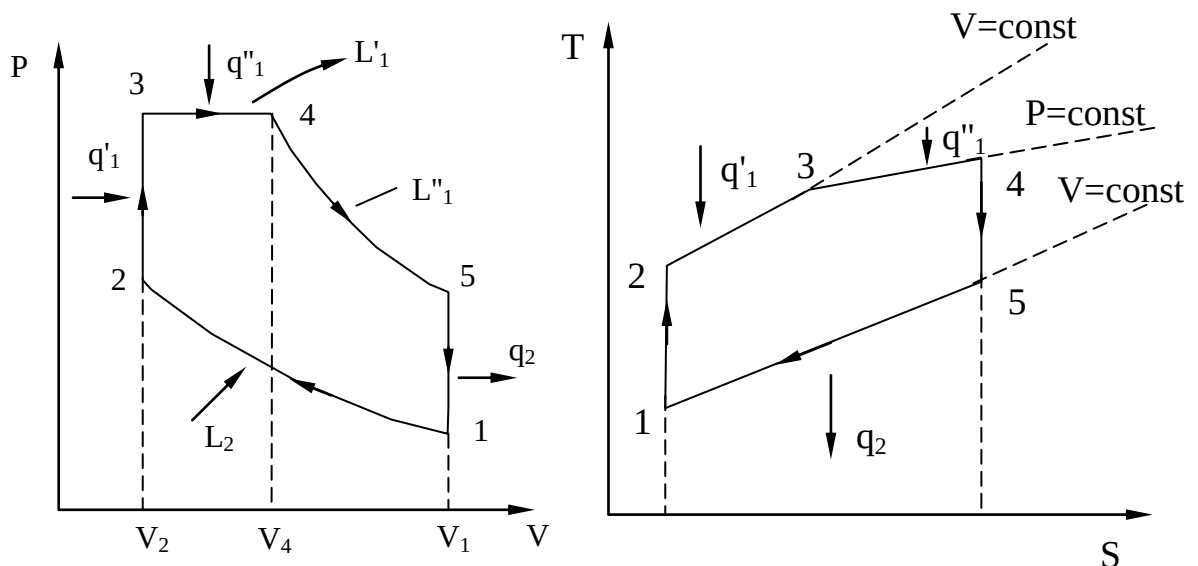


Рисунок 6 – Характеристика цикла ДВС со смешанным подводом тепла

Термический К.П.Д. такого цикла (при условии постоянной теплоемкости) будет равен [3]:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q'_1 + q''_1}; \text{ т.к. } q_1 = q'_1 + q''_1.$$

Из анализа цикла имеем $q'_1 = C_v \cdot (T_3 - T_2)$;

$q''_1 = C_p \cdot (T_4 - T_3)$ и $q_2 = C_v \cdot (T_5 - T_1)$.

Подставляя эти значения в выражение К.П.Д., получим:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_5 - T_1}{T_3 - T_2 + \kappa \cdot (T_4 - T_3)} \quad (5.1)$$

Выражая все температуры через T_1 , и используя характеристики цикла и уравнения взаимосвязей между параметрами в процессах рассматриваемого цикла, получим [3]:

для адиабаты 1–2:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1}, \text{ откуда } T_2 = T_1 \cdot \mathcal{E}^{\kappa-1}; \quad (5.2)$$

для изохоры 2–3:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2}, \text{ откуда } T_3 = T_2 \cdot \lambda = T_1 \cdot \lambda \cdot \mathcal{E}^{\kappa-1}; \quad (5.3)$$

для изобары 3–4:

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{V_4}{V_3}, \text{ откуда } T_4 = T_3 \cdot \rho = T_1 \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \mathcal{E}^{\kappa-1}; \quad (5.4)$$

для адиабаты 4–5:

$$\frac{T_4}{T_5} = \left(\frac{V_4}{V_5} \right)^{\kappa-1} = \left(\frac{V_4}{V_3} \cdot \frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1}, \text{ так как } V_3 = V_2 \text{ и } V_1 = V_5, \quad (5.5)$$

откуда следует:

$$T_5 = T_4 \cdot \left(\rho \cdot \frac{1}{\mathcal{E}} \right)^{\kappa-1} = T_1 \cdot \rho^{\kappa} \cdot \lambda \cdot \mathcal{E}^{\kappa-1} \frac{1}{\mathcal{E}^{\kappa-1}} = T_1 \cdot \lambda \cdot \rho^{\kappa}. \quad (5.6)$$

Подставляя полученные соотношения температур в выражение К.П.Д. цикла, после несложных преобразований получим:

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \cdot \rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} [(\lambda - 1) + k \cdot \lambda \cdot (\rho - 1)]}. \quad (5.7)$$

При $\lambda=1$ получим КПД цикла с подводом тепла при $p=\text{const}$ в виде:

$$\eta_{tp} = 1 - \frac{\rho^k - 1}{k\varepsilon^{k-1}(\rho - 1)} \quad (5.8)$$

При $\rho=1$ получим КПД цикла с подводом тепла при $v=\text{const}$ в виде уравнения:

$$\eta_{tv} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}. \quad (5.9)$$

Анализ выражения КПД цикла показывает, что увеличение ε всегда ведет к повышению КПД, а при постоянном ε , рост λ и уменьшение ρ , так же способствует повышению КПД.

Однако пределом увеличения λ является максимально допустимые значения температуры и давления газа в цилиндре, а величина ρ определяется оставшимся количеством подводимого тепла.

Для современных дизелей обычно $\varepsilon = 10 \div 14$; $\rho = 1,1 \div 1,5$ и $\lambda = 1,2 \div 1,7$.

Работа, полученная за один цикл на 1 кг рабочего тела равна разности работ расширения и сжатия или количества подведенного и отведенного тепла в цикле:

$$L = L_{расш} - L_{сж} = q = q_1' + q_1'' - q_2, \frac{Дж}{кг}. \quad (5.10)$$

Эффективная мощность двигателя на валу определяется по формуле:

$$Ne = \frac{m \cdot L}{\eta_m \cdot \eta_i}, Bm, \quad (5.11)$$

где m – расход рабочего тела, кг/с;

η_i – внутренний, индикаторный К.П.Д., учитывающий отклонение цикла от идеального;

η_m – механический К.П.Д. двигателя, учитывающий потери на трение в механизме ДВС.

5.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 5.1. Для идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при $v=\text{const}$ определить параметры в характерных точках, полученную работу, термический к.п.д., количество подведенной и отведенной теплоты, если дано: $p_1=0,1$ МПа; $t_1=20^0$ С; $\varepsilon=3,6$; $\lambda=3,33$; $k=1,4$. Рабочее тело – воздух. Теплоемкость принять постоянной.

5.3 Вопросы к практическому занятию

1. В каком термодинамическом процессе цикла ДВС Отто осуществляется подвод тепла?
2. В каком термодинамическом процессе цикла ДВС Дизеля осуществляется подвод тепла?
3. Как осуществляется подвод тепла в ДВС, работающем по циклу Тринклера?
4. Чем характеризуется степень сжатия в ДВС?
5. Чем характеризуется степень повышения давления в ДВС Тринклера?
6. Чем характеризуется степень предварительного расширения в ДВС Дизеля?

Тема 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ТЕПЛА НА ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЮ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛЫХ, ОБЩЕСТВЕННЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

ПЗ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ТЕПЛА НА ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЮ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛЫХ, ОБЩЕСТВЕННЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

6.1 Теоретическая часть

Общий расчетный расход тепловой энергии (тепловая нагрузка) на коммунально-бытовые нужды определяется как сумма максимальных тепловых нагрузок на отопление, горячее водоснабжение жилых и общественных зданий, а также вентиляцию общественных зданий по формуле:

$$Q_p = K \cdot (Q_o^{\text{жс}} + Q_v^{\text{общ}} + Q_o^{\text{общ}} + Q_{\text{з.в.}}^{\text{общ}} + Q_{\text{з.в.}}^{\text{жс}}), \text{ кВт}, \quad (6.1)$$

где K – коэффициент, учитывающий потери тепла в тепловых сетях, принимаемый по данным [4, 5] в пределах $1,05 \div 1,10$;

$Q_o^{\text{жс}}; Q_{\text{з.в.}}^{\text{жс}}$ – максимальные тепловые нагрузки на отопление и горячее водоснабжение жилых зданий;

$Q_o^{\text{общ}}; Q_v^{\text{общ}}; Q_{\text{з.в.}}^{\text{общ}}$ – максимальные тепловые нагрузки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение общественных зданий.

6.1.1 Максимальная тепловая нагрузка на отопление

Расход тепла на отопление равен величине тепловых потерь зданий и сооружений через наружные ограждения. Тепловые потери определяются при расчетной температуре наружного воздуха, которая по данным [9] для заданного города строительства, как средняя наиболее холодной пятидневки.

Тепловые потери конкретных зданий определяются расчетом теплопередачи через наружные ограждения. Для приближенных расчетов теп-

ловые потери могут определяться по укрупненно-нормативному методу на основании строительного объема данного здания (V_i) из формулы:

$$Q_{oi} = (1 + \mu) \cdot q_{oi} \cdot a \cdot V_i \cdot (T_{\epsilon}^p - T_{н.о}^p), \text{ кВт}, \quad (6.2)$$

где μ – коэффициент инфильтрации, учитывающий расход тепла на подогрев воздуха, поступающего в здание путем инфильтрации через неплотности в ограждениях, определяемый по формуле:

$$\mu = 0,01 \cdot \sqrt{20 \cdot H \cdot \left(1 - \frac{T_{н.о}^p}{T_{\epsilon}^p}\right) + w_{\epsilon}^2}, \quad (6.3)$$

где H – свободная высота здания (высота этажа), принимаемая:

- для жилых зданий $H = 2,6 \div 3,0$ м;
- для общественных $H = 3,5 \div 4,2$ м;

w_{ϵ} – скорость ветра, м/с, по данным [8];

q_{oi} – удельная отопительная характеристика данного здания при расчетной температуре наружного воздуха $t_{н.о}^p = -30$ °С по данным [7];

a – поправочный коэффициент, учитывающий действительное значение расчетной температуры наружного воздуха, принимаемый по данным [4, 5, 6];

$t_{н.о}^p$ – расчетная температура наружного воздуха для отопления в заданном городе строительства, °С по данным [9];

t_{ϵ}^p – расчетная температура внутреннего воздуха в жилых и общественных зданиях, определяемая по справочным или литературным данным [7, 8] в зависимости от типа здания, °С.

Для данного укрупненного расчета можно принять $t_{\epsilon}^p = +18$ °С;

$T_{н.о}^p$; $T_{в}^p$ – те же расчетные температуры наружного и внутреннего воздуха для отопления в абсолютной термодинамической шкале, °K;

V_i – строительный объем одного типового здания по заданию, м³.

Зная величину тепловых потерь по каждому зданию можно определить максимальную тепловую нагрузку на отопление всех зданий по формуле:

$$Q_0 = Q_o^{жс} + Q_o^{общ} = n^{жс} \cdot Q_{oi}^{жс} + n^{общ} \cdot Q_{oi}^{общ}, \text{ кВт}, \quad (6.4)$$

где $n^{жс}$; $n^{общ}$ – количество, соответственно, жилых и общественных зданий в проектируемом микрорайоне.

6.1.2 Максимальная тепловая нагрузка на вентиляцию

Расход тепла на вентиляцию равен количеству тепла, затрачиваемому на подогрев наружного воздуха, подаваемого извне для вентиляции зданий и отдельных помещений.

Расход тепла на вентиляцию жилых зданий, не имеющих специальной приточной системы, отдельно не учитывается и включается в величину удельной отопительной характеристики здания.

Определение расхода тепла на вентиляцию отдельного здания производится при минимальной расчетной температуре наружного воздуха на вентиляцию ($t_{н.в}^p$) по уравнению теплового баланса для всего объема воздуха, подаваемого на вентиляцию.

$t_{н.в}^p$ – значение расчетной температуры наружного воздуха для вентиляции в заданном городе строительства, °C, по данным [9];

Для усредненных расчетов тепловая нагрузка на вентиляцию может определяться по величине строительного объема данного здания с помощью укрупненных показателей из формулы:

$$Q_{Bi} = q_{Bi} \cdot V_i \cdot (T_{в}^p - T_{н.в}^p), \text{ кВт}, \quad (6.5)$$

где q_{Bi} – удельный расход тепла на вентиляцию данного здания (удельная вентиляционная характеристика здания), Вт/м³·°К, определяемый по данным [7, 8];

V_i – строительный объем типового здания по заданию, м³;

$T_{н.в}^p; T_{в}^p$ – те же расчетные температуры наружного и внутреннего воздуха для вентиляции в абсолютной термодинамической шкале, °К.

Величина $T_{н.в}^p$ задается выше $T_{н.о}^p$ с целью снижения расхода тепла на вентиляцию.

В период времени, когда фактическая температура наружного воздуха устанавливается ниже расчетной вентиляционной ($T_n^p < T_{н.в}^p$), кратность воздухообмена уменьшается таким образом, чтобы расход тепла на вентиляцию сохранялся в пределах расчетной величины Q_{Bi} .

Расход тепла на вентиляцию группы общественных зданий определяется как сумма максимальных вентиляционных нагрузок отдельных зданий по формуле:

$$Q_{в}^{общ} = Q_{вi}^{общ} \cdot n^{общ}, \text{ кВт}. \quad (6.6)$$

6.1.3 Максимальная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение

Расход тепла на горячее водоснабжение определяется количеством тепла, затрачиваемого на подогрев холодной водопроводной воды, используемой для нужд бытового горячего водоснабжения жилых и общественных зданий.

Определение средней тепловой нагрузки на горячее водоснабжение производится по нормам расхода горячей воды на одного жителя и работника предприятия из формулы:

$$Q_{г.в.}^{cp.} = Q_{г.в.}^{ж} + Q_{г.в.}^{адм} = \frac{(m_1 \cdot a_1 + m_2 \cdot a_2) \cdot C_{г.} \cdot (t_{г.в.} - t_{х.в.}^{cp.})}{24 \cdot 3600}, \text{ кВт}, \quad (6.7)$$

где m_1 – число работников предприятия, пользующихся горячей водой;

a_1 – расход горячей воды на одного работника предприятия, который ориентировочно можно принять равным 50 кг/сутки;

a_2 – расход горячей воды на одного жителя микрорайона, который по данным СНиП «Горячее водоснабжение» [6] принимают равным 105 кг/сутки;

m_2 – число жителей, пользующихся горячей водой, которое определяется по нормативной методике, приведенной ниже по тексту.

Полезная жилая площадь на одного человека составляет 12 м². Коэффициент пересчета полезной жилой площади в объем здания принимается равным 6 м³/м². Тогда, число потребителей горячей воды в прилегающем жилом микрорайоне может быть определено из формулы:

$$m_2 = \frac{n_2 \cdot V_2}{12 \cdot 6}, \quad (6.8)$$

где n_2 – число жилых зданий в проектируемом микрорайоне;

V_2 – объем одного жилого здания;

$C_{г.} = 4,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ – удельная теплоёмкость воды;

$t_{г.в.}; t_{х.в.}^{cp.}$ – температуры, соответственно, горячей воды на выходе из подогревательной установки и холодной воды из городского водопровода.

СНиП «Горячее водоснабжение» [6] регламентирует температуру горячей воды в точках водоразбора у абонента на уровне:

- не ниже 50 °С – для закрытых систем горячего водоснабжения;
- не ниже 60 °С – для открытых систем горячего водоснабжения.

С учётом охлаждения воды в подающих и циркуляционных трубопроводах (до 10 °С – для закрытых систем и 5 °С – для открытых систем) температура горячей воды на выходе из теплового пункта принимается равной:

$$t_{г.в.} = 50 + 10 = 60\text{ °С} \quad \text{– для закрытых систем теплоснабжения};$$

$$t_{г.в.} = 60 + 5 = 65\text{ °С} \quad \text{– для открытых систем теплоснабжения}.$$

Среднюю температуру холодной водопроводной воды ($t_{х.в.}^{cp}$), поступающей на подогрев в систему горячего водоснабжения, при отсутствии специальных данных о сезонных изменениях температуры, ориентировочно принимают равной 10°С.

Максимальная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение промышленных предприятий и жилых зданий определяется по формуле:

$$Q_{г.в.}^{\max} = Q_{г.в.}^3 \cdot K_{ч.н.}, \text{ кВт}, \quad (6.9)$$

где $K_{ч.н.}$ – коэффициент часовой неравномерности расхода тепла на горячее водоснабжение, определяемый по эмпирической формуле:

$$K_{ч.н.} = \frac{7,5}{(a_1 \cdot m_1 + a_2 \cdot m_2)^{0,1}}. \quad (6.10)$$

$Q_{г.в.}^3$ – средний расход тепла на горячее водоснабжение в зимний период, кВт, определяемый по формуле (6.7) при $t_{х.в.}^3 = 5\text{ °С}$.

6.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 6.1. Определить расчетный расход тепловой энергии (тепловую нагрузку) на коммунально-бытовые нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения группы многоэтажных жилых и общественных зданий заданной архитектурной планировки, расположенных в г. Ставрополе.

6.3 Вопросы к практическому занятию

7. Дать характеристику отопительного периода.
8. Дать характеристику видам неравномерности потребления горячей воды для жилых, общественных и производственных зданий.
9. Дать характеристику кратности вентиляции в системах с организованным воздухообменом и обосновать выбор расчетной температуры наружного воздуха на вентиляцию в зависимости от категории помещений.

Тема 8. РАСЧЕТ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ПЗ 7. РАСЧЕТ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ И ВЫ- БОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

7.1 Теоретическая часть

Задачей расчета схем тепловых пунктов является определение тепловых нагрузок по всем видам теплопотребления на предприятии и выбор технологического оборудования. Тепловая схема предприятия представлена на рисунке 7.

7.1.1 Определение расхода сетевого пара по всем видам теплопотребления

По заданному объёму производственных помещений и кратности воздухообмена определяется тепловая нагрузка системы подогрева воздуха принудительной вентиляции:

$$Q_{в.} = \frac{L_{под.в.} \cdot \rho_{воз.} \cdot (t_{в.}^p - t_{н.в.}^p) \cdot C_{воз.}}{3600}, \text{ кВт}, \quad (7.1)$$

где $L_{под.в.}$ – расчетный воздухообмен производственных помещений, определяемый из выражения:

$$L_{под.в.} = V_{в.} \cdot m, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (7.2)$$

m , 1/ч – кратность воздухообмена;

$t_{\text{в.}}^p, t_{\text{н.в.}}^p, ^\circ\text{C}$ – температуры воздуха в помещении и наружного воздуха

для вентиляции по заданию;

$C_{\text{воз.}}, \text{кДж/кг}\cdot\text{K}$ и $\rho_{\text{воз.}}, \text{кг/м}^3$ – средние значения удельной теплоемкости и плотности воздуха по заданию.

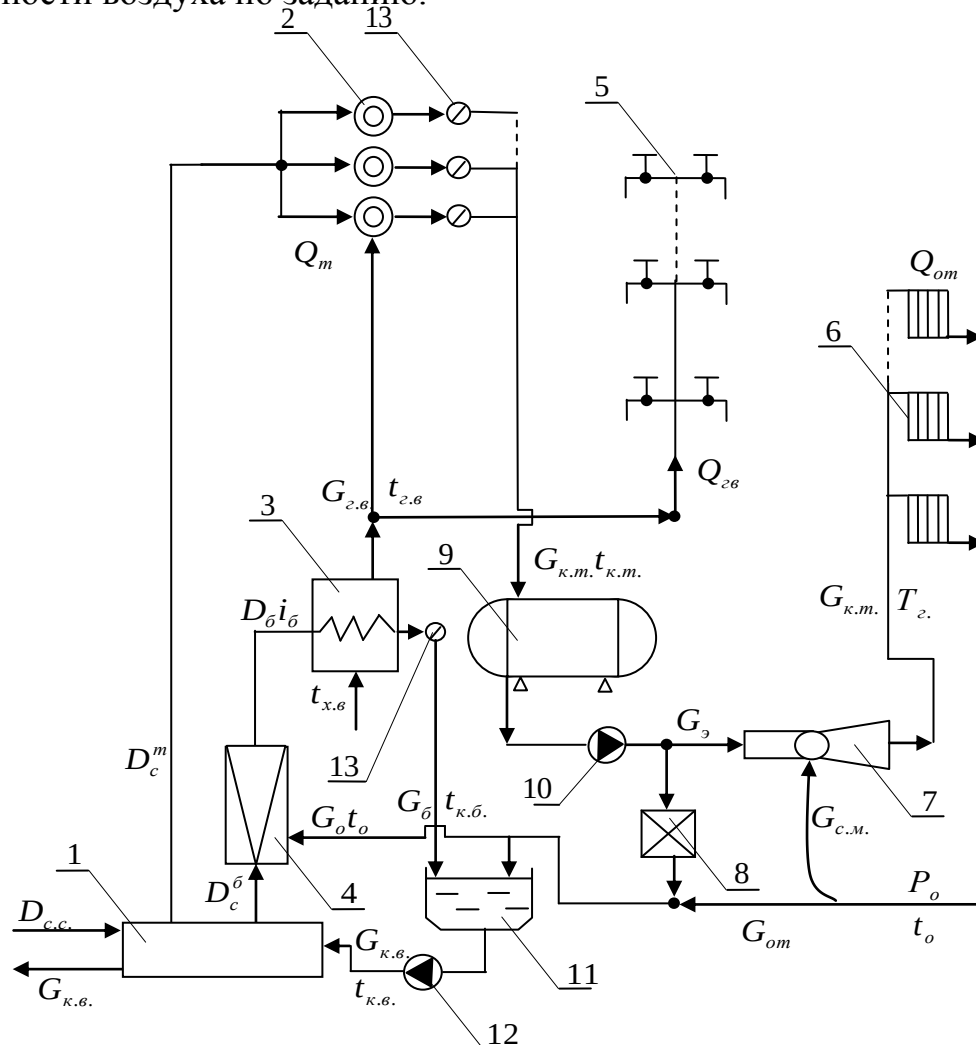


Рисунок 7 – Тепловая схема предприятия:

1–абонентский ввод; 2–теплоиспользующие аппараты; 3–бойлер; 4–редукционно-охладительная установка; 5–система горячего водоснабжения; 6–система отопления; 7–водоструйный элеватор; 8–калорифер; 9–бак сбора высокотемпературного конденсата; 10 – питательный насос санитарно-бытовых систем отопления и вентиляции; 11–бак сбора конденсата; 12–насос возврата конденсата; 13–конденсатоотводчик.

Исходя из суммарной тепловой нагрузки системы отопления и вентиляции, определяется секундный расход высокотемпературного конденсата ($G_{к.м.}$), поступающего в бак сбора от технологических аппаратов:

$$G_{к.м.} = \frac{Q_{от} + Q_{в.}}{C_{в} \cdot (t_{к.м.} - t_o)}, \text{ кг/с} , \quad (7.3)$$

где $Q_{от}$, кВт – тепловая нагрузка отопления, определенная по результатам теплотехнического расчета помещений предприятия;

$Q_{в.}$, кВт – тепловая нагрузка вентиляции, определенная по формуле (7.1);

$C_{в} = 4,302 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ – удельная теплоёмкость воды в рабочем интервале температур;

$t_{к.м.} - t_o = 180 - 70 = 110^\circ\text{C}$ – полезный температурный перепад конденсата, используемый в системах отопления и вентиляции предприятия.

Так как по условиям задания возврат конденсата от технологических аппаратов составляет 100%, то расход конденсата от технологических аппаратов будет равен расходу сетевого пара на технологию:

$$G_{к.м.} = D_c^m, \text{ кг/с} . \quad (7.4)$$

Тепловая нагрузка технологических аппаратов определяется из балансового соотношения по формуле:

$$Q_m = D_c^m \cdot (i_n^m - i_k^m) \cdot \eta_{ан}, \text{ кВт} , \quad (7.5)$$

где i_n^m, i_k^m , кДж/ кг·К – энтальпия пара и конденсата технологических аппаратов;

$\eta_{ан} = 0,96 \div 0,98$ – энергетический КПД теплоиспользующих аппаратов.

Часовой расход сетевого пара на технологию определяется из уравнения:

$$D_{c.ч.}^m = D_c^m \cdot 3,6, \text{ т/ч.} \quad (7.6)$$

Из уравнения теплового баланса бойлера определяется расход греющего пара на бойлер:

$$D_{\bar{o}} \cdot (I_n^{\bar{o}} - I_k^{\bar{o}}) \cdot \eta_{\bar{o}} = G_{z.в.} \cdot C_{\bar{e}} \cdot (t_{z.в.} - t_{x.в.}), \quad (7.7)$$

откуда
$$D_{\bar{o}} = \frac{G_{z.в.} \cdot C_{\bar{e}} \cdot (t_{z.в.} - t_{x.в.})}{(I_n^{\bar{o}} - I_k^{\bar{o}}) \cdot \eta_{\bar{o}} \cdot 3,6}, \text{ кг/с,} \quad (7.8)$$

где $G_{z.в.}$, т/ч – расход горячей воды;

$t_{z.в.}, t_{x.в.}$, °С – температуры горячей хозяйственной и холодной воды;

$i_n^{\bar{o}}, i_k^{\bar{o}}$, кДж/кг·К – энтальпия греющего пара бойлера и образующегося конденсата, принимаемые по заданию;

$C_{\bar{e}} = 4,17$ – кДж/кг·К – удельная теплоёмкость нагреваемой воды в рабочем интервале температур;

$\eta_{\bar{o}} = 0,96 \div 0,98$ – энергетический КПД бойлера.

Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение определяется по формуле:

$$Q_{z.в.} = G_{z.в.} \cdot C_{\bar{e}} \cdot (t_{z.в.} - t_{x.в.}) / 3,6, \text{ кВт.} \quad (7.9)$$

Выполняем тепловой расчет редуционно-охладительной установки (РОУ), которая обеспечивает снижение параметров сетевого пара до рабочих параметров бойлера. Расчет выполняется на основе уравнений материального (7.10) и теплового (7.11) баланса РОУ. Схема движения теплоносителей приведена на рисунке 8.

$$D_c^{\bar{o}} + G_o = D_{\bar{o}}, \text{ кг/с} \quad (7.10)$$

$$D_c^{\bar{o}} \cdot I_c + G_o \cdot I_o = D_{\bar{o}} \cdot I_{\bar{o}}. \quad (7.11)$$

Рассматривая уравнения (7.10) и (7.11) как систему и используя метод подстановки, получаем выражение:

$$G_o = D_{\delta} \cdot \frac{I_c - I_{\delta}}{I_c - I_o}, \text{ кг/с} . \quad (7.12)$$

Из уравнения материального баланса (7.10) определяется расход сетевого пара на бойлер:

$$D_c^{\delta} = D_{\delta} - G_o, \text{ кг/с} . \quad (7.13)$$

Тепловая нагрузка бойлера определяется по формуле:

$$Q_{\delta} = D_{\delta} \cdot (I_n^{\delta} - I_k^{\delta}) \cdot \eta_{\delta}, \text{ кВт} . \quad (7.14)$$

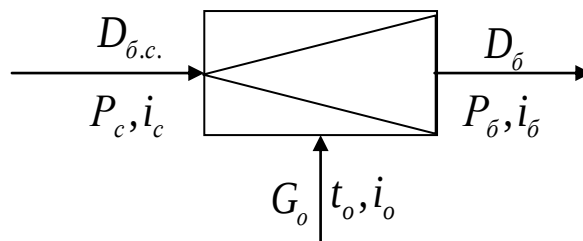


Рисунок 8 – Расчетная схема редукционно-охладительной установки

Суммарный расход сетевого пара, потребляемый предприятием, определяется из балансового уравнения расходов на абонентском вводе:

$$D_{c.c.} = D_{c.ч.}^m + D_{c.ч.}^{\delta}, \text{ т/ч} . \quad (7.15)$$

Полученное значение суммарного расхода используется в качестве определяющей нагрузки при расчете паропровода теплотрассы.

Значения тепловых нагрузок по всем видам теплopotребления предприятия представляем в виде таблицы 5.

Таблица 5 – Значения тепловых нагрузок предприятия

Вид теплopotребления	Обозначение	Тепловая нагрузка, кВт
1. Технологические аппараты	Q_m	
2. Отопление	$Q_{от.}$	
3. Вентиляция	$Q_{в.}$	
4. Горячее водоснабжение	$Q_{г.в.}$	
Всего		

7.1.2 Выбор и расчет калориферов

Калорифер представляет собой рекуперативный теплообменный аппарат, предназначенный для подогрева воздуха в системах принудительного воздухообмена производственных, административных и общественных помещений. В зависимости от вида используемого греющего теплоносителя калориферы могут быть водяными или паровыми.

Расчет калорифера сводится к определению требуемой поверхности теплообмена и выбору стандартизированного аппарата.

Определяется расход сетевой воды, подаваемой в качестве греющего теплоносителя на калорифер:

$$G_{кал.} = \frac{Q_{в.}}{C_{в.} \cdot (t_{к.м.} - t_o)}, \text{ кг }, \quad (7.16)$$

где $Q_{в.}$ – тепловая нагрузка системы вентиляции определена по формуле (7.1);

$C_g = 4,302 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – удельная теплоемкость греющего теплоносителя в рабочем интервале температур;

$t_{к.т}$ и t_o – параметры теплоносителя.

При подборе калорифера задаются массовой скоростью воздуха и по ней определяют требуемое живое сечение калорифера (f), тип калорифера и соответствующее принятому типу значение коэффициента теплопередачи рабочей поверхности аппарата (k). Экономически выгодная массовая скорость воздуха находится в пределах $4 \div 15 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ и определяется по формуле:

$$V_p = \frac{L_{под.в} \cdot \rho_{воз.}}{3600 \cdot f}, \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2), \quad (7.17)$$

где $L_{под.в}$ – расчетный воздухообмен помещений, определенный по формуле (7.2);

$\rho_{воз.}$ – средняя плотность воздуха по заданию;

$f, \text{ м}^2$ – живое сечение калорифера для прохода нагреваемого воздуха (площадь просветов). Значения живого сечения калорифера (f) приводятся в технических характеристиках калориферов по приложению А.

Рекомендуемые значения массовой скорости (V_p) и соответствующие им значения коэффициентов теплопередачи (k) даны в приложении Б.

Для принятого типа калорифера и рабочих температурных условий уточняется требуемая рабочая поверхность теплообмена:

$$F_{кал} = 1,15 \cdot \frac{Q_g \cdot 10^3}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2, \quad (7.18)$$

где $1,15$ – коэффициент, характеризующий тепловые потери;

$Q_g, \text{ кВт}$ – тепловая нагрузка системы вентиляции;

k , Вт/(м²·К) – паспортное значение коэффициента теплопередачи калорифера, принимаемое по приложению Б;

Δt_{cp} , °С – средний температурный перепад между греющим теплоносителем и нагреваемым воздухом, определяемый по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\text{м}})}, \text{ } ^\circ\text{C} . \quad (7.19)$$

Если расчетная величина поверхности теплообмена не превышает табличного значения, то калорифер принимается к установке.

7.1.3 Выбор и расчет водоструйного элеватора

Водоструйный элеватор используется в системах отопления зданий, которые подключены к централизованной тепловой сети, работающей на повышенных температурных параметрах: температура сетевой воды в подающем трубопроводе превышает 100 °С. В соответствии с санитарными нормами [6] максимальная температура греющего теплоносителя в отопительных приборах не должна превышать 90 ÷ 95 °С.

Элеватор является смесительным устройством, обеспечивая подмешивание теплоносителя из обратного трубопровода системы отопления в подающий, и одновременно он является побудителем циркуляции в отопительном контуре.

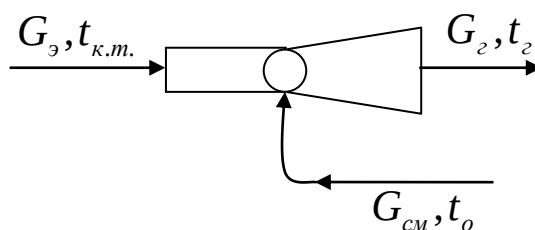


Рисунок 9 – Расчетная схема водоструйного элеватора

Определяются коэффициент эжекции (u) и расходы рабочих потоков теплоносителей элеватора.

Коэффициент эжекции (смешения) находят из выражения:

$$u = \frac{G_{см}}{G_2} = \frac{t_{к.м.} - t_2}{t_2 - t_o} . \quad (7.20)$$

Расход горячей воды в системе отопления находят по формуле:

$$G_2 = \frac{Q_{от}}{C_g \cdot (t_2 - t_o)}, \text{ кг/с}, \quad (7.21)$$

где $Q_{от}$, кВт – тепловая нагрузка системы отопления предприятия;

$C_g = 4,19$ кДж/кг·К – удельная теплоёмкость греющего теплоносителя в рабочем интервале температур;

t_2 – температура горячей воды перед отопительной системой, принимаемая равной +95 °С;

t_o – температура воды в обратном трубопроводе системы отопления, принимаемая равной +70 °С.

Расход высокотемпературного конденсата на входе элеватора определяется из выражения:

$$G_3 = \frac{G_2}{1 + u}, \text{ кг/с} . \quad (7.22)$$

Диаметр горловины (камеры смешения) элеватора рассчитывается по формуле:

$$d_2 = 0,165 \cdot \frac{G_2^{0,5}}{\Delta \rho_o^{0,25}}, \text{ м}, \quad (7.23)$$

где $\Delta p_o = p_z - p_o = (10 \div 15) \cdot 10^3$, Па – потери давления греющей воды в системе отопления.

По найденному размеру горловины из приложения В подбирается элеватор типа ВТИ Мосэнерго с фактическим размером горловины $d_z^\phi \geq d_z$.

Для принятого типа элеватора определяется требуемый размер диаметра сопла:

$$d_c = \frac{d_z^\phi}{\sqrt{1,2(1+u)^2 - 0,95u^2}}, \text{ м.} \quad (7.24)$$

Конструктивные размеры элеватора определяются по приложению В. Особенности конструкции приводятся в литературных источниках [7, 8].

Определяем требуемый перепад давлений горячей воды на рабочем сопле элеватора:

$$\Delta p_c = p_z - p_o = 1,1 \cdot (d_z^\phi / d_c) \Delta p_o, \text{ Па.} \quad (7.25)$$

7.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 7.2.1 Для заданного объема производственных помещений и нормируемой кратности воздухообмена определить тепловую нагрузку системы принудительной вентиляции и подобрать калорифер, обеспечивающий её покрытие.

Задача 7.2.2 Для заданного объема производственных помещений, географической зоны строительства и теплотехнических характеристик зданий определить тепловую нагрузку системы радиаторного отопления и произвести выбор водоструйного элеватора.

7.3 Справочные данные

7.3.1 Теплофизические характеристики воздуха:

– расчетная температура воздуха в помещении: $t_{\text{в}}^p = +18^\circ\text{C}$;

– средняя удельная теплоемкость в рабочем интервале температур:

$$C_{\text{воз.}} = 1,005 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К};$$

– средняя плотность воздуха в рабочем интервале температур:

$$\rho_{\text{воз.}} = 1,247 \text{ кг/м}^3.$$

7.3.2 Параметры греющего пара, используемого в технологических аппаратах и бойлере, представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры греющего пара

Вид потребления	P , МПа	i_n , кДж/кг	i_k , кДж/кг	$t_{\text{нас.}}$, °С	v'' , м³/кг
1. Технологические аппараты	1,0	2778	762,4	179,9	0,1945
2. Бойлер	0,3	2726	562,0	133,5	0,6055

7.3.3 Коэффициент теплопередачи змеевика бойлера, изготовленного:

– из стали $k = 520 \div 640 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К};$

– из латуни $k = 700 \div 840 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}.$

Температура горячей хозяйственной воды: $t_{\text{г.в.}} = + 65^\circ\text{С}.$

7.3.4 Температура холодной воды из городского водопровода в зимний период: $t_{\text{х.в.}} = +5^\circ\text{С}.$

7.3.5 Температура конденсата, сбрасываемого от технологических аппаратов: $t_{\text{к.т.}} = t_{\text{нас.}} = +179,9^\circ\text{С}.$

7.3.6 Температура отработанного конденсата после калорифера и системы отопления, а также охлаждающей воды, подаваемой на РОУ: $t_0 = +70^\circ\text{С}.$

7.4 Вопросы к практическому занятию

1. Какие из двух типов калориферов (водяные или паровые) обладают более высокими значениями коэффициентов теплопередачи рабочей поверхности теплообмена?

10. Дать характеристику кратности вентиляции в системах с организованным воздухообменом и обосновать выбор расчетной температуры наружного воздуха на вентиляцию в зависимости от категории помещений.

3. Дать определение физической сущности живого сечения калорифера.

4. Требуется ли установка водоструйного элеватора на абонентском вводе, подключенном к тепловой сети с максимальной температурой теплоносителя в подающем трубопроводе ≤ 95 °С?

5. Поясните физические принципы работы водоструйного элеватора.

6. Что означает коэффициент эжекции элеватора?

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перечень основной литературы:

1. Арутюнов В.А., Крупенников С.А., Сборщиков Г.С. Теплофизика и теплотехника: курс лекций. МИСИС, 2018, 228 с.
2. Цирельман, Н. М. Техническая термодинамика : учебное пособие для вузов / Н. М. Цирельман. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 352 с

2. Перечень дополнительной литературы:

1. Кудинов, В. А. Техническая термодинамика. Учебное пособие для вузов [Текст] / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов. М. : Высшая школа, 2000. — 261 с.
2. Воронин, А. И. Современные проблемы теплогазоснабжения населенных мест и предприятий : учебное пособие / А. И. Воронин. — Ставрополь : СКФУ, 2014. — 199 с

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Приложение А – Технические характеристики калориферов

Тип калорифера	Площадь поверхности нагрева, м ²	Живое сечение по воздуху, м ²	Масса, кг
КСк1-1-01	2,45	0,078	16,6
КСк1-3-01	3,63	0,119	19,5
КСк1-5-01	5,40	0,181	26,7
КСк1-1-01	4,70	0,078	20,8
КСк2-3-01	6,94	0,119	28,9
КСк2-12 -01	61,20	1,045	159,3
КСк3-1-01	7,17	0,078	31,9
КСк2-7-01	11,97	0,130	47,5
КСк3-12-01	91,80	1,045	250,1
КСк4-1-01	9,40	0,078	37,7
КСк4-6-01	12,60	0,103	44,3
КСк4-8-01	18,80	0,158	60,3
КВС6 -П	11,40	0,139	56,2
КВС8 -П	16,92	0,205	74,8
КВС10 -П	25,08	0,303	102,2
КВВ6 -П	18,81	0,172	84,0
КВВ9 -П	26,00	0,238	109,1
КВВ12-П	143,50	1,298	518,3

Приложение Б– Теплофизические характеристики калориферов

Тип калорифера	Массовая скорость воздуха, кг/(с·м ²)	Коэффициент теплопередачи			Аэродинамическое сопротивление, Па
		Вода при скорости, м/с		Пар	
		0,5	1,0		
КВС-П	7	35,4	38,9	38,9	50,5
	12	42,1	46,1	46,1	118,0
КВВ-П	7	33,6	36,8	36,8	68,1
	12	40,0	43,7	43,7	166,0
КСк-1	7	48,6	52,0	-	15,0
	12	61,6	65,8	-	39,5
КСк-2	7	50,2	56,0	-	29,5
	12	63,5	70,7	-	85,5
КСк-3	7	51,7	57,4	-	49,1
	12	67,1	74,2	-	128,2
КСк-4	7	49,0	56,5	-	63,2
	12	65,6	75,7	-	164,0

Приложение В – Размеры стальных водоструйных элеваторов
ВТИ – Мосэнерго, мм

Конструктивный элемент	Номер элеватора						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Диаметр горловины	51	20	25	30	35	47	59
2. Наружный диаметр корпуса	44	44	56	56	56	88	88
3. Внутренний диаметр корпуса	39	39	49	49	49	81	81
4. Диаметр патрубка сопла	32	32	44	44	44	72	72
5. Внутренний диаметр подводящего патрубка	40	40	50	50	50	80	80
6. Внутренний диаметр выходного патрубка	50	50	80	80	80	100	100
7. Габаритная длина	425	425	625	625	625	720	720

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной работе студентов

по дисциплине

«Современные проблемы теплогазоснабжения населенных мест и предприятий»

для студентов направления подготовки

08.04.01 «Строительство»

направленность (профиль) «Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий»

В современный период востребованы высокий уровень знаний, академическая и социальная мобильность, профессионализм специалистов, готовность к самообразованию и самосовершенствованию. В связи с этим должны измениться подходы к планированию, организации учебно-воспитательной работы, в том числе и самостоятельной работы аспирантов. Прежде всего, это касается изменения характера и содержания учебного процесса, переноса акцента на самостоятельный вид деятельности, который является не просто самоцелью, а средством достижения глубоких и прочных знаний, инструментом формирования у аспирантов активности и самостоятельности.

Целью методических рекомендаций является повышение эффективности учебного процесса, в том числе благодаря самостоятельной работе, в которой студент становится активным субъектом обучения, что означает:

- способность занимать в обучении активную позицию;
- готовность мобилизовать интеллектуальные и волевые усилия для достижения учебных целей;
- умение проектировать, планировать и прогнозировать учебную деятельность;
- привычку инициировать свою познавательную деятельность на основе внутренней положительной мотивации;
- осознание своих потенциальных учебных возможностей и психологическую готовность составить программу действий по саморазвитию.

Виды самостоятельной работы студентов

Репродуктивная самостоятельная работа

Самостоятельное прочтение, просмотр, конспектирование учебной литературы, прослушивание лекций, магнитофонных записей, заучивание, пересказ, запоминание, Интернет-ресурсы, повторение учебного материала и др.

Познавательная-поисковая самостоятельная работа

Подготовка сообщений, докладов, выступлений на семинарских и практических занятиях, подбор литературы по дисциплинарным проблемам, написание рефератов, контрольных, курсовых работ и др.

Творческая самостоятельная работа

Написание рефератов, научных статей, участие в научно-исследовательской работе, подготовка дипломной работы (проекта). Выполнение специальных заданий и др., участие в научной конференции.

Организация и контроль самостоятельной работы

Для успешного выполнения самостоятельной работы студентов необходимо планирование и контроль со стороны преподавателей. Аудиторная самостоятельная работа выполняется студентами на лекциях, семинарских занятиях, и, следовательно, преподаватель должен заранее выстроить систему самостоятельной работы, учитывая все ее формы, цели, отбирая учебную и научную информацию и средства (методических) коммуникаций, продумывая роль студента в этом процессе и свое участие в нем.

Вопросы для самостоятельной работы студентов, указанные в рабочей программе дисциплины, предлагаются преподавателями в начале изучения дисциплины. Студенты имеют право выбирать дополнительно интересующие их темы для самостоятельной работы.

Не умаляя значения аудиторной самостоятельной работы, в данных методических рекомендациях акцентируется внимание на проблемах, связанных с внеаудиторной самостоятельной работой и ее организацией. Внеаудиторная самостоятельная работа студентов (далее самостоятельная работа) – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская деятельность студентов, осуществляемая во внеаудиторное

время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Она включает в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим, семинарским, лабораторным работам и др.) и выполнение соответствующих заданий;
- самостоятельную работу над отдельными темами учебных дисциплин в соответствии с учебно-тематическими планами;
- написание рефератов, докладов, эссе;
- подготовку ко всем видам практики и выполнение предусмотренных ими заданий;
- выполнение письменных контрольных и курсовых работ;
- подготовку ко всем видам контрольных испытаний, в том числе к комплексным экзаменам и зачетам;
- подготовку к итоговой государственной аттестации, в том числе выполнение выпускной квалификационной (дипломной) работы (проекта);
- работу в студенческих научных обществах, кружках, семинарах и др.;
- участие в работе факультативов, спецсеминаров и т.п.;
- участие в научной и научно-методической работе кафедры;
- участие в научных и научно-практических конференциях, семинарах, конгрессах и т.п.;
- другие виды деятельности, организуемой и осуществляемой вузом, или кафедрой.

Выполнение любого вида самостоятельной работы предполагает прохождение студентами следующих этапов:

- определение цели самостоятельной работы;
- конкретизация познавательной (проблемной или практической) задачи;
- самооценка готовности к самостоятельной работе по решению поставленной или выбранной задачи;
- выбор адекватного способа действий, ведущего к решению задачи (выбор путей и средств для ее решения);
- планирование (самостоятельно или с помощью преподавателя) самостоятельной работы по решению задачи;
- реализация программы выполнения самостоятельной работы.

Методические советы и рекомендации к заданиям

Все типы заданий, выполняемых студентами, в том числе в процессе самостоятельной работы, так или иначе содержат установку на приобретение и закрепление определенного Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования объема знаний и уровня компетенций, а также на формирование в рамках этих знаний некоторых навыков мыслительных операций - умения оценивать, анализировать, сравнивать, комментировать и т.д. Некоторые задания требуют пояснения:

1. Прокомментировать высказывание - объяснить, какая идея заключена в отрывке, о какой позиции ее автора она свидетельствует.
2. Сравнить – выявить сходство и различие позиций по определенным признакам.
3. Обосновать один из нескольких предложенных вариантов ответа – привести аргументы в пользу правильности выбранного варианта ответа и указать, в чем ошибочность других вариантов.
4. Аргументировать (обосновать, доказать, объяснить) ответ – значит: а) оправдать (опровергнуть) некоторую точку зрения; б) обосновать свою точку зрения, опираясь на теоретические или практические обобщения, данные и т.д.

5. Провести анализ – разложить изучаемые явления на составные части, сопоставить их с целью выявления в них существенного, необходимого и определяющего.

6. Тезисно изложить идею, концепцию, теорию – используя материал учебных пособий и другой литературы, кратко, но не в ущерб содержанию сформулировать основные положения учения.

7. Дать характеристику, охарактеризовать явления – значит назвать существенные, необходимые признаки какого-либо явления (положения какой-либо теории) и выявить особенности.

8. Изобразить схематически – значит раскрыть содержание ответа в виде таблицы, рисунка, диаграммы и других графических форм.

Работа с литературой

Важной составляющей самостоятельной внеаудиторной подготовки является работа с литературой ко всем видам занятий: семинарским, практическим, при подготовке к зачетам, экзаменам, тестированию, участию в научных конференциях.

Умение работать с литературой означает научиться осмысленно пользоваться источниками. Прежде чем приступить к освоению научной литературы, рекомендуется чтение учебников и учебных пособий.

Существует несколько методов работы с литературой.

Один из них – самый известный – метод повторения: прочитанный текст можно заучить наизусть. Простое повторение воздействует на память механически и поверхностно. Полученные таким путем сведения легко забываются.

Наиболее эффективный метод – метод кодирования: прочитанный текст нужно подвергнуть большей, чем простое заучивание, обработке. Чтобы основательно обработать информацию и закодировать ее для хранения, важно произвести целый ряд мыслительных операций: прокомментировать новые данные; оценить их значение; поставить вопросы; сопоставить полученные сведения с ранее известными.

Для улучшения обработки информации очень важно устанавливать осмысленные связи, структурировать новые сведения.

Изучение научной, учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей.

Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект.

План – первооснова, каркас какой-либо письменной работы, определяющие последовательность изложения материала.

План является наиболее краткой и потому самой доступной и распространенной формой записей содержания исходного источника информации. По существу, это перечень основных вопросов, рассматриваемых в источнике. План может быть простым и развернутым. Их отличие состоит в степени детализации содержания и, соответственно, в объеме.

Преимущество плана состоит в следующем.

Во-первых, план позволяет наилучшим образом уяснить логику мысли автора, упрощает понимание главных моментов произведения.

Во-вторых, план позволяет быстро и глубоко проникнуть в сущность построения произведения и, следовательно, гораздо легче ориентироваться в его содержании.

В-третьих, план позволяет – при последующем возвращении к нему – быстрее

обычного вспомнить прочитанное.

В-четвертых, с помощью плана гораздо удобнее отыскивать в источнике нужные места, факты, цитаты и т. д.

Выписки – небольшие фрагменты текста (неполные и полные предложения, отдельные абзацы, а также дословные и близкие к дословным записи об излагаемых в нем фактах), содержащие в себе квинтэссенцию содержания прочитанного.

Выписки представляют собой более сложную форму записей содержания исходного источника информации. По сути, выписки – не что иное, как цитаты, заимствованные из текста. Выписки позволяют в концентрированной форме и с максимальной точностью воспроизвести в произвольном (чаще последовательном) порядке наиболее важные мысли автора, статистические и даталогические сведения. В отдельных случаях — когда это оправданно с точки зрения продолжения работы над текстом – вполне допустимо заменять цитирование изложением, близким к дословному. Тезисы – сжатое изложение содержания изученного материала в утвердительной (реже опровергающей) форме. Отличие тезисов от обычных выписок состоит в следующем. Во-первых, тезисам присуща значительно более высокая степень концентрации материала. Во-вторых, в тезисах отмечается преобладание выводов над общими рассуждениями. В-третьих, чаще всего тезисы записываются близко к оригинальному тексту, т. е. без использования прямого цитирования. Исходя из сказанного, нетрудно выявить основное преимущество тезисов: они незаменимы для подготовки глубокой и всесторонней аргументации письменной работы любой сложности, а также для подготовки выступлений на защите, докладов и пр. Аннотация – краткое изложение основного содержания исходного источника информации, дающее о нем обобщенное представление. К написанию аннотаций прибегают в тех случаях, когда подлинная ценность и пригодность исходного источника информации исполнителю письменной работы окончательно неясна, но в то же время о нем необходимо оставить краткую запись с обобщающей характеристикой. Для указанной цели и используется аннотация. Характерной особенностью аннотации наряду с краткостью и обобщенностью ее содержания является и то, что пишется аннотация всегда после того, как (хотя бы в предварительном порядке) завершено ознакомление с содержанием исходного источника информации. Кроме того, пишется аннотация почти исключительно своими словами и лишь в крайне редких случаях содержит в себе небольшие выдержки оригинального текста. Резюме – краткая оценка изученного содержания исходного источника информации, полученная, прежде всего, на основе содержащихся в нем выводов. Резюме весьма сходно по своей сути с аннотацией. Однако, в отличие от последней, текст резюме концентрирует в себе данные не из основного содержания исходного источника информации, а из его заключительной части, прежде всего выводов. Но, как и в случае с аннотацией, резюме излагается своими словами – выдержки из оригинального текста в нем практически не встречаются. Конспект – сложная запись содержания исходного текста, включающая в себя заимствования (цитаты) наиболее примечательных мест в сочетании с планом источника, а также сжатый анализ записанного материала и выводы по нему. Для работы над конспектом следует: определить структуру конспектируемого материала, чему в значительной мере способствует письменное ведение плана по ходу изучения оригинального текста; в соответствии со структурой конспекта произвести отбор и последующую запись наиболее существенного содержания оригинального текста — в форме цитат или в изложении, близком к оригиналу; выполнить анализ записей и на его основе – дополнение записей собственными замечаниями, соображениями, "фактурой", заимствованной из других источников и т. п. (располагать все это следует на полях тетради для записей или на отдельных листах-вкладках); завершить формулирование и запись выводов по каждой из частей оригинального текста, а также общих выводов.

Систематизация изученных источников позволяет повысить эффективность их

анализа и обобщения. Итогом этой работы должна стать логически выстроенная система сведений по существу исследуемого вопроса.

Необходимо из всего материала выделить существующие точки зрения на проблему, проанализировать их, сравнить, дать им оценку.

Кстати, этой процедуре должны подвергаться и материалы из Интернета во избежание механического скачивания готовых текстов. В записях и конспектах студенту очень важно указывать названия источников, авторов, год издания. Это организует его, а главное, пригодится в последующем обучении. Безусловно, студент должен взять за правило активно работать с литературой в библиотеке не только СКФУ, но и в других, библиотеках, используя, в том числе, их компьютерные возможности (электронная библиотека в сети Интернет).

Методические рекомендации по подготовке к семинарским занятиям, зачетам, экзаменам.

Приступая к изучению новой учебной дисциплины, студенты должны ознакомиться с учебной программой, учебной, научной и методической литературой, имеющейся в библиотеке СКФУ, получить в библиотеке рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, завести новую тетрадь для конспектирования лекций и работы с первоисточниками.

Помимо учебной, научной литературы студентами должны активно использоваться хрестоматии – сборники текстов, иллюстрирующих содержание учебника, а также словари, справочники. В хрестоматиях собраны материалы, которые позволяют расширить кругозор. При подготовке к семинарским занятиям, зачетам, экзаменам следует в полной мере использовать академический курс учебника, рекомендованного преподавателем. Они дают более углубленное представление о проблемах, получивших систематическое изложение в учебнике. Работа с хрестоматией позволит студенту самостоятельно изучить документы, фрагменты источников, другие произведения, разъясняющие суть изучаемого вопроса.

Основными функциями экзамена, зачета являются: обучающая, оценочная и воспитательная. Экзамены и зачеты позволяют выработать ответственность, трудолюбие, принципиальность. При подготовке к экзамену студент повторяет, как правило, ранее изученный материал. В этот период сыграют большую роль правильно подготовленные заранее записи и конспекты.

Вопросы к экзамену

1. Проблемы и перспективы развития централизованных систем теплоснабжения в новом тысячелетии.
2. Методика гидравлического расчета водонагревателей.
3. Структурные изменения в современной теплоэнергетике и характерные направления ее развития.
4. Расчет годовых расходов тепла на отопление и вентиляцию общественных зданий.
5. Методика гидравлического расчета трубопроводов горячего водоснабжения.
6. Классификация потребителей тепла по режиму потребления и их характеристика.
7. Основные физические принципы работы водоструйного элеватора.
8. Нормативный метод расчета тепловых нагрузок на отопление жилых зданий.
9. Сравнительный анализ схем вводов закрытых систем теплоснабжения.
10. Задачи и принцип регулирования температуры на вводах местных систем горячего водоснабжения.

11. Нормативные методы расчета тепловых нагрузок на вентиляцию и тепловыделения жилых зданий.
12. Характеристика схем абонентских вводов открытых систем теплоснабжения.
13. Методика расчета часовых расходов тепла на горячее водоснабжение жилых зданий.
14. Характеристика схем вводов закрытых систем теплоснабжения
15. Задачи и принципы автоматического регулирования тепловых пунктов.
16. Виды колебаний тепловых нагрузок горячего водоснабжения и методика их расчета.
17. Присоединение местных систем теплоснабжения к тепловым сетям.
18. Методика расчета пиковых тепловых технологических нагрузок.
19. Общая характеристика, достоинства и недостатки паровых систем теплоснабжения.
20. Необходимые условия и принципы подключения к теплосети абонентов по независимым и насосным схемам.
21. Определение годовых расходов тепла сезонными потребителями.
22. Сравнительный анализ схем абонентских вводов открытых систем теплоснабжения.
23. Построение графика продолжительности сезонной нагрузки.
24. Общая характеристика и конструктивные особенности скоростных теплообменников.
25. Расчет годовых расходов тепла круглогодичными потребителями.
26. Достоинства и недостатки открытых и закрытых двухтрубных систем теплоснабжения.
27. Общая характеристика централизованных систем теплоснабжения.
28. Методика определения температурного напора теплообменников.
29. Основные требования к качеству горячей воды.
30. Схемы включения аккумуляторов тепла и определение их емкости.
31. Методика расчета элеватора в оптимальном режиме.
32. Разновидности систем горячего водоснабжения.
33. Методика теплового расчета скоростных водоводяных теплообменников.
34. Методика теплотехнического расчета трубопроводов теплотрассы.
35. Сравнительная характеристика одно- и многотрубных водяных систем теплоснабжения.
36. Назначение и принцип работы регулятора давления прямого действия.
37. Общая характеристика централизованных систем теплоснабжения.
38. Методика теплового расчета скоростных и емкостных пароводяных теплообменников.
39. Характеристика и конструктивные особенности емкостных теплообменников.
40. Вывод основных уравнений материального и теплового балансов элеватора.
41. Общая характеристика и конструктивные особенности емкостных теплообменников.
42. Необходимые условия и принципы подключения к сети абонентов по элеваторной схеме.
43. Методика расчета часовых расходов тепла на горячее водоснабжение жилых зданий.
44. Сравнительная характеристика одно- и многотрубных водяных систем теплоснабжения.
45. Схемы включения аккумуляторов тепла и определение их емкости.
46. Классификация потребителей тепла по режиму потребления; их характеристика
47. Достоинства и недостатки различных систем горячего водоснабжения.

48. Методика подбора калориферов систем вентиляции промышленных предприятий.
49. Общая характеристика, виды и задачи систем холодоснабжения промышленных предприятий.
50. Сравнительный анализ систем непосредственного охлаждения и с промежуточным теплоносителем: ледяная вода, рассол.
51. Парокомпрессорные циклы холодильных установок и их характеристика.
52. Основные элементы парокомпрессорной холодильной установки (компрессор, конденсатор, дросселирующий вентиль, испаритель): их назначение и конструктивные особенности.
53. Виды хладоносителей, их характеристика, основные термодинамические характеристики.
54. Цели и задачи систем кондиционирования воздуха.
55. $I - d$ диаграмма влажного воздуха и методика расчета режима работы установки кондиционирования воздуха.
56. Основные конструктивные элементы установки кондиционирования воздуха, их назначение и характеристика.
57. Виды холодильных агентов и их общая характеристика.
58. Преимущества высокотемпературных теплоносителей в системах централизованного теплоснабжения.
59. Режимы отпуска тепла на ТЭЦ: понятие базовой и сверхбазовой нагрузки.
60. Преимущества комбинированной выработки тепловой и электрической энергии на ТЭЦ.

Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений,

навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения экзамена осуществляется в соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры - в СКФУ.

В экзаменационный билет включаются два теоретических вопроса и одна задача. Для подготовки по билету отводится 30 минут.

При проверке практического задания, оцениваются рациональность выполнения, точность расчетов.

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: оценку общего уровня освоения данной инженерной дисциплины и частных технических моментов, касающихся сравнительного анализа различных вариантов задачи, умения проводить анализ схем, конструкций и методик расчета.

Вопросы повышенного уровня отличаются от вопросов базового уровня более углубленным изучением данной дисциплины

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо успешно освоить лекционный, практический и лабораторный курс данной дисциплины в течение учебного семестра. Также оптимальным способом подготовки к данному мероприятию является самообразование студентов на основании предоставленных университетом и кафедрой обучающихся и методических материалов согласно технологической карте самостоятельной работы студента.

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования справочными материалами наглядными пособиями и типовыми схемами. По желанию студента ему предоставляется возможность ответа без подготовки.