

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ
ГОУ СПО «КИСЛОВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МНОГОПРОФИЛЬНЫЙ
ТЕХНИКУМ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению расчетной работы для студентов
по дисциплине
«Теплоснабжение и вентиляция»

Кисловодск 2020

Методические указания к контрольной работе составлены в соответствии с программой по дисциплине «Теплоснабжение и вентиляция» для студентов.

В них приводятся задания и методические указания к выполнению контрольной работы по дисциплине «Теплоснабжение и вентиляция» на тему: «Теплоснабжение жилого района», а также даны рекомендации по расчету тепловых нагрузок жилого района по укрупненным показателям по всем видам теплопотребления, приведена методика расчета трубопровода теплотрассы и определение годовых расхода тепла и топлива на теплоснабжение жилого района.

Составители: Плевако С.Р.

Методические указания к контрольной работе составлены в соответствии с программой по дисциплине «Теплоснабжение и вентиляция».

Контрольная работа выполняется с использованием содержания этой дисциплины, а так же общенаучных дисциплин «Физика», «Термодинамика».

Целью выполнения контрольной работы является выработка у студентов практического навыка теплотехнических расчетов по системам теплоснабжения.

Задачей контрольной работы является выполнение расчета теплоснабжения жилого района с использованием укрупненных показателей на основе индивидуального задания характеристик жилого района и места строительства.

1. Формулировка контрольной работы и ее объем

1.1. Произвести расчет системы теплоснабжения жилого района для чего выполнить следующие виды расчетов:

- расчет максимальных тепловых нагрузок по всем видам теплопотребления (отопление, вентиляция и горячее водоснабжение) с использованием укрупненных показателей;

- расчет подающего трубопровода теплотрассы от котельной до жилого района (гидравлический расчет, расчет на прочность и расчет толщины изоляции). Выполнить в масштабе эскиз узла теплотрассы и изоляции трубопровода на листе А4;

- расчет годового расхода тепловой энергии и топлива на теплоснабжение жилого района с учетом потерь в теплосетях и собственных нужд котельной, а так же выбор основного оборудования котельной.

1.2. Контрольная работа выполняется на основе индивидуальных исходных данных, которые выбираются студентом из таблиц 1 и 2 в соответствии с индивидуальным шифром задания. Шифр задания на контрольную работу выдается каждому студенту преподавателем и состоит из двух цифр. Первая цифра означает номер строки в таблице 1, а вторая – в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристика жилого района

№ п/п	Число жите- лей района, чел.	Распределение жилых зданий по объему в % от общего объема жилых зданий					Средний объем общественного здания, м³
		Средний объем жилого здания, м³					
		3000	5000	10000	15000	20000	
1	4000	40	25	20	10	5	3000
2	6000	25	30	15	20	10	3500
3	8000	25	25	20	20	10	4000
4	10000	20	25	30	15	10	4500
5	12000	20	30	25	15	10	5000
6	14000	15	25	30	25	5	5500
7	16000	15	20	25	25	15	6000
8	18000	15	15	30	20	20	6500
9	20000	10	25	25	25	15	7000
0	22000	10	15	30	25	20	7500

Таблица 2 – Характеристика теплотрассы и район строительства

№ п/п	Район строительства (город)	Характеристика теплотрассы		Вид топлива
		длина, м	Способ прокладки	
1	Волгоград	600	подземная бесканальная	Каменный уголь
2	Казань	800	надземная	Мазут
3	Махачкала	1000	подземная канальная	Газ
4	Москва	1200	надземная	Бурый уголь
5	Ростов н/д	1400	подземная канальная	Каменный уголь
6	Сочи	1600	подземная бесканальная	Мазут
7	Ставрополь	1800	надземная	Газ
8	Томск	2000	подземная канальная	Каменный уголь
9	Хабаровск	2200	надземная	Бурый уголь
0	Чита	2400	подземная канальная	Каменный уголь

2. Общие требования к выполнению контрольной работы

При выполнении контрольной работы необходимо выполнять следующие условия:

- выписать условия задания и исходные данные с указанием номера варианта;
- выполнение задания сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором указывать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу и откуда они взяты;
- работа должна иметь список использованной литературы;
- оформленная работа должна иметь титульный лист и скреплена;
- при оформлении работы руководствоваться стандартом.

3. Рекомендации по организации работ над контрольной работой и примерный календарный план ее выполнения

3.1. Расчет максимальных тепловых нагрузок жилого района по всем видам теплопотребления.

3.1.1. Расчет максимальной тепловой нагрузки на отопление жилых и общественных зданий.

Расход тепла на отопление равен величине тепловых потерь зданий и сооружений через наружные ограждения, определяемых при минимальной расчетной температуре наружного воздуха. Тепловые потери конкретных зданий определяются расчетом теплопередачи через наружные ограждения, а в общем случае для приближенных расчетов тепловые потери могут определяться по величине строительного объема данного здания (V_i) из уравнения:

$$Q_{0i} = (1 + \mu) q_{0i} \cdot a V_i (t_{\text{в}}^p - t_{\text{н.о}}^p), \text{ Вт.} \quad (1)$$

Зная величину тепловых потерь по каждому зданию, можно определить максимальную тепловую нагрузку жилого района на отопление.

$$Q_0 = Q_o^{\text{жс}} + Q_o^{\text{общ}} = \sum_1^n Q_{0i}^{\text{жс}} + \sum_1^m Q_{0j}^{\text{общ}}, \text{ Вт.} \quad (2)$$

Величины, входящие в уравнение (1), определяются следующим образом: μ – коэффициент инфильтрации, учитывающий расход тепла на подо-

грев воздуха, поступающего в здание путем инфильтрации через неплотности в ограждениях, определяется по формуле

$$\mu = 0,01 \sqrt{20 \cdot H \left(1 - \frac{T_{н.о}^p}{T_B^p} \right) + w_B^2}, \quad (3)$$

где: H – свободная высота здания (высота этажа): для жилых зданий $H = 2,6-3,0$ м; для общественных – $H = 3,5 - 4,2$ м; $T_{н.о}^p$; T_B^p – наружная и внутренняя (отдельно для жилых и общественных зданий) расчетная температура воздуха по шкале Кельвина, K ; w_B – средняя скорость ветра за три наиболее холодных месяца в районе строительства, $м/с$ определяется по приложению 1; q_{oi} – удельная отопительная характеристика данного здания при $t_{н.о}^p = -30^\circ C$, $Bm/м^3 \cdot K$. Для типовых жилых зданий, обусловленных заданием, величина q_{oi} определяется по уравнению

$$q_{oi}^{жс} = 0,27 + \frac{1780}{V_i + 5000}. \quad (4)$$

Для общественных зданий удельная отопительная характеристика определяется из уравнения

$$q_{oi}^{общ} = q_{ни} + \frac{3900}{V_i + 10000}, \quad (5)$$

где: $q_{ни}$ – нормативный коэффициент для отопительной характеристики общественного здания, $Bm/м^2 \cdot K$, принимаемый от вида общественного здания по таблице приложения 2; a – поправочный коэффициент, учитывающий действительное значение расчетной температуры наружного воздуха ($t_{н.о}^p$), определяется по приближенной формуле

$$a = \frac{60}{30 - t_{н.о}^p} - 0,003(30 + t_{н.о}^p), \quad (6)$$

где: $t_{н.о}^p$ берется со знаком по шкале Цельсия; t_B^p – расчетная температура внутреннего воздуха в жилых и общественных зданиях, $^\circ C$.

Для жилых зданий принятых типовых объемов $t_g^p = +18\text{ }^{\circ}\text{C}$, для типовых общественных зданий t_g^p определяется по приложению 2; $t_{н.о.}^p$ – расчетная температура наружного воздуха для отопления, $^{\circ}\text{C}$ (средняя наиболее холодная пятидневка). $t_{н.о.}^p$ может быть определена из приложения 1, СНиП [9] или литературных данных [1-5] по заданному району строительства; V_i – строительный объем каждого отдельного здания, м^3 . Строительные объемы и число зданий каждого типа определяются отдельно для жилых и общественных зданий.

Число жилых зданий каждого типа определяется делением суммарного объема зданий данного типа на объем одного здания ($V_i=3000\text{ м}^3$; 5000 м^3 и т.д.). Суммарный объем зданий каждого типа определяется как доля от общего объема всех жилых зданий по заданию. Суммарный объем всех жилых зданий определяется как произведение числа жителей района на норму полезной жилой площади (12 м^2 на 1 жит.) и на пересчетный коэффициент (6 м^3 на 1 м^2 жил. площади).

Номенклатура и объем общественных зданий определяются по данным СНиП, исходя из норм, приходящихся на 1000 жителей (приложение 2). Количество общественных зданий каждого типа определяется подбором соответствующего числа зданий в заданных пределах (приложение 2) до обеспечения требуемого объема, с учетом заданного среднего объема общественного здания.

3.1.2. Расчет максимальной тепловой нагрузки на вентиляцию общественных зданий.

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

Определение расхода тепла на вентиляцию отдельного здания производится при минимальной расчетной температуре наружного воздуха на венти-

ляцию по уравнению теплового баланса для всего объема воздуха, подаваемого на вентиляцию, а для приближенных расчетов тепловая нагрузка на вентиляцию может определяться по величине строительного объема данного здания с помощью укрупненных показателей из формулы

$$Q_{\text{вн}} = q_{\text{вн}} \cdot V_i \cdot (t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{н.в}}^{\text{п}}), \text{ Вт}. \quad (7)$$

Величины, входящие в формулу (7), определяются следующим образом: $q_{\text{вн}}$ – удельный расход тепла на вентиляцию данного здания (удельная вентиляционная характеристика здания), $\text{Вт}/\text{м}^3\text{К}$, определяется аналогично отопительной характеристике по справочным таблицам в литературе или по приложению 2; V_i – строительный объем здания, определяемый по наружному периметру, м^3 ; $t_{\text{в}}^{\text{п}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха в здании, $^{\circ}\text{C}$, определяется так же, как и для отопления; $t_{\text{н.в}}^{\text{п}}$ – расчетная температура наружного воздуха для вентиляции, $^{\circ}\text{C}$, определяется по приложению 1, СНиП 11-А6-72 и литературным данным в зависимости от района строительства.

Величина $t_{\text{н.в}}^{\text{п}}$ задается выше $t_{\text{н.о}}^{\text{п}}$ с целью снижения расхода на вентиляцию. В период когда $t_{\text{н}}^{\text{п}} < t_{\text{н.в}}^{\text{п}}$, расход тепла на вентиляцию сохраняется постоянным, равным расчетной величине $Q_{\text{вн}}$, за счет сокращения величины кратности воздухообмена.

Расход тепла на вентиляцию жилых зданий, не имеющих специальной приточной системы, отдельно не учитывается и включается в величину удельной отопительной характеристики здания – $q_{\text{от}}$.

Расход тепла на вентиляцию общественных зданий определяется по каждому зданию отдельно и суммарная максимальная тепловая нагрузка на вентиляцию общественных зданий определяется по формуле:

$$Q_{\text{в}}^{\text{общ}} = \sum Q_{\text{ви}}^{\text{общ}}, \text{ Вт (МВт)}. \quad (8)$$

3.1.3. Расчет максимальной тепловой нагрузки 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 воды на одного жителя из формулы:

$$Q_{г.в}^{ср} = Q_{г.в}^{ж} + Q_{г.в}^{общ} = \frac{n \cdot (a + b) \cdot C_v \cdot (t_{г.в} - t_{х.в}^{ср})}{24 \cdot 3600}, Bm (MBm). \quad (9)$$

Максимальная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение жилого района определяется по формуле:

$$Q_{г.в}^{ж+общ} = Q_{г.в}^{max} = Q_{г.в}^3 \cdot K_{ч.н}, Bm. \quad (10)$$

Величины, входящие в формулы (9) и (10), определяются следующим образом: n – число жителей данного жилого района; a – норма расхода горячей воды в жилых домах на 1 человека, $кг/сутки$. Величина a принимается по СНиП 11-34-76 и справочным данным в литературе. В среднем значение $a = 110 кг/сутки$; b – расход горячей воды в общественных зданиях, отнесенный на 1 жителя жилого района, $кг/сутки$. Величина b определяется подсчетом по справочным данным и нормам для всех общественных зданий. Ориентировочно можно принимать $b = 20 кг/сутки$; C_v – теплоемкость воды, $Дж/кг \cdot K$, принимается по справочным данным. В среднем $C_v = 4190 Дж/кг \cdot K$; $t_{г.в.}$ – средняя температура горячей воды у потребителя, $^{\circ}C$, принимаемая по СНиП и справочным данным. В среднем $t_{г.в.} = 65 ^{\circ}C$; $t_{х.в.}^{ср.}$ – средняя температура холодной водопроводной воды, поступающей на подогрев в систему горячего водоснабжения, $^{\circ}C$. При отсутствии специальных данных о сезонных изменениях температуры водопроводной воды, ориентировочно принимают для зимнего периода $t_{х.в.}^3 = 5 ^{\circ}C$, для летнего периода $t_{х.в.}^л = 15 ^{\circ}C$.

и соответственно среднюю температуру $t_{x.B}^{cp}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$; $Q_{г.в}^3$ – наибольший средний расход тепла на горячее водоснабжение в зимний период, Bm , определяемый по формуле (9) при $t_{x.B}=5\text{ }^{\circ}\text{C}$; $K_{ч.н}$ – коэффициент часовой неравномерности расхода тепла на горячее водоснабжение, определяемый по эмпирическому уравнению

$$K_{ч.н} = 7,5(a \cdot n)^{-0,1}. \quad (11)$$

3.1.4. Расчет суммарной максимальной тепловой нагрузки жилого района.

Общий расчетный расход тепловой энергии (тепловая нагрузка), который должна обеспечивать система теплоснабжения, определяется как сумма максимальных тепловых нагрузок на отопление, горячее водоснабжение жилых и общественных зданий и вентиляцию общественных зданий по формуле:

$$Q_p = K_{nom}(Q_o^{жс} + Q_o^{общ} + Q_v^{общ} + Q_{г.в}^{жс+общ}), Bm(MBm), \quad (12)$$

где: K_{nom} – коэффициент, учитывающий потери тепла во внутриквартальных сетях, принимаемый в пределах 1,15-1,18; $Q_o^{жс}; Q_{г.в}^{жс+общ}$ – максимальная тепловая нагрузка на отопление для жилых зданий и горячее водоснабжение для жилых и общественных зданий; $Q_o^{общ}; Q_v^{общ}$ – максимальная тепловая нагрузка на отопление и вентиляцию общественных зданий.

3.2. Расчет трубопровода теплотрассы от котельной до жилого района.

Задачей расчета является определение основных конструктивных размеров трубопроводов теплотрассы: диаметр и толщина стенки труб, вид и толщина тепловой изоляции.

Основными исходными данными для расчета является максимальный расход сетевой воды в прямом и обратном трубопроводе, температура сетевой воды и наружного воздуха, длина теплотрассы. Расчет ведется только для подающего (прямого) трубопровода теплотрассы.

Максимальный расход сетевой воды в трубопроводе определяется по максимальной расчетной тепловой нагрузке из уравнения теплового баланса

$$B_c = \frac{Q_p}{C_b(t_{c_1} - t_{c_2})}, \text{ кг/с}, \quad (13)$$

где: Q_p – расчетная тепловая нагрузка, Вт (МВт), определяемая по уравнению (12); C_b – теплоемкость воды, Дж/кг·К; t_{c_1} – температура сетевой воды на выходе из котельной, °С принимается по температурному графику теплосети при расчетной наружной температуре воздуха, для теплосетей централизованного теплоснабжения рекомендуется принимать $t_{c_1} = 150$ °С; t_{c_2} – температура обратной сетевой воды на входе в котельную, °С принимается также по графику, рекомендуемое значение $t_{c_2} = 70$ °С.

3.2.1. Гидравлический расчет трубопроводов теплотрассы

Задачей гидравлического расчета является определение внутреннего диаметра трубопровода и полного сопротивления трубопровода теплотрассы заданной протяженности и принятого диаметра.

Последовательность расчета:

а) определяется доля местных потерь давления по уравнению

$$\alpha = z\sqrt{B_c}, \quad (14)$$

где: B_c – расход сетевой воды, кг/с; z – коэффициент, зависящий от вида теплоносителя ($z = 0,1$ – для воды, $z = 0,05 - 0,10$ – для водяного пара);

б) задается величина нормативных удельных потерь $R_n = 80 - 120$ Па/м;

в) определяется внутренний диаметр трубопровода:

$$d_{вн} = 0,63 \cdot \frac{K_9^{0,0475}}{\rho^{0,19}} \cdot \frac{B_c^{0,38}}{R_n}, \text{ м}, \quad (15)$$

где: K_9 – коэффициент эквивалентной шероховатости трубопровода, принимаемый в зависимости от теплоносителя: $5 \cdot 10^{-4}$ м – для водяных сетей, $2 \cdot 10^{-4}$ м – для паропроводов; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³;

г) полученное значение расчетного диаметра округляется до стандартного значения по сортаменту труб $d_{\text{вн}}^{\text{ст}} = d_{\text{н}}^{\text{ст}} - 2\delta^{\text{ст}}$ (приложение 3), принимая предварительно $\delta^{\text{ст}} = 4 - 9 \text{ мм}$;

д) определяется действительная скорость движения воды в трубе:

$$W = \frac{4 \cdot B_c}{\rho \cdot \pi \cdot (d_{\text{вн}}^{\text{ст}})^2}, \text{ м/с}; \quad (16)$$

е) уточняется значение удельных линейных потерь:

$$R_{\text{л}} = 0,0894 \cdot K_9^{0,25} \frac{B_c^2}{\rho \cdot (d_{\text{вн}}^{\text{ст}})^{5,25}}, \text{ Па/м}; \quad (17)$$

ж) определить полное сопротивление трубопровода теплотрассы:

$$\Delta P_{\text{п}} = R_{\text{л}} (1 + l_{\text{э}}), \text{ Па}, \quad (18)$$

где: l – протяженность теплотрассы по заданию, м; $l_{\text{э}} = l \cdot \alpha$ – эквивалентная длина местных сопротивлений, м;

з) определяется максимальное давление сетевого теплоносителя на входе трассы:

$$P_{\text{max}} = P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{п}} + 0,2 \div 0,3, \text{ МПа}, \quad (19)$$

где: $P_{\text{н}}$ – давление насыщения, соответствующее температуре сетевой воды на выходе из котельной, МПа.

3.2.2. Расчет толщины стенки трубопровода (прочностной расчет).

Прочностной расчет состоит в определении минимальной толщины стенки трубопровода, при которой под расчетным давлением (P_{max}) не произойдет разрушения.

Расчетную толщину стенки определяют по уравнению:

$$\delta_p = \frac{P_{\text{max}} \cdot d_{\text{вн}}^{\text{ст}}}{2 \cdot [\sigma] - P_{\text{max}}} + C, \text{ м}, \quad (20)$$

где: P_{max} – максимальное давление теплосети, МПа; $d_{\text{вн}}^{\text{ст}}$ – принятый внутренний стандартный диаметр трубопровода по сортаменту труб, м; $C = 0,003$ -

0,005 м – конструктивная прибавка на коррозию и неучтенные факторы; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение на растяжение, $H/мм^2$, определяемое по уравнению

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{K_3}, \quad (21)$$

где: σ_B – предел прочности при растяжении, принимаемый по виду материала (сталь 10-320 $H/мм^2$; сталь 20-400 $H/мм^2$); K_3 – нормативный коэффициент запаса прочности, принимаемый $K = 8-10$.

Полученное значение расчетной толщины ($\sigma_{ст}$) округляют до ближайшего значения из стандартного ряда ($\delta_{ст} = 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0; 12,0$ мм), соблюдая условие $d_{вн}^{cm} + 2\delta_{ст} = d_n^{cm}$ (приложение 3).

3.2.3. Тепловой расчет трубопровода теплотрассы

Задачей теплового расчета является определение толщины теплоизоляции, при которой фактические теплотери не превысят установленных норм.

Величина нормируемых теплотерь (q_n^o) определяется из приложения 4, а затем уточняется (в зависимости от температуры окружающего воздуха) по приложению 5, $q_n = q_n^o \cdot K_n$.

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

Определяются удельные тепловые потери на изолированных участках трубопровода

$$q = \frac{q_n}{1 + \beta}, Bm/м, \quad (22)$$

где: β – коэффициент местных потерь, равный 0,15 – для подземной бесканальной прокладки, 0,20 – для канальной прокладки, 0,25 – для открытой надземной прокладки.

Определяется требуемое суммарное термическое сопротивление трубопровода

$$\sum R = \frac{t_c - t_{н.о.}^p}{q}, \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}, \quad (23)$$

где: t – максимальная температура сетевой воды в трубе, $^\circ\text{C}$.

Определяется требуемое термическое сопротивление изоляции

$$R_{из} = \sum R - (R_{вн} + R_{тр} + R_{п.сл} + R_n + R_{кан} + R_{гр} + R_{1-2}), \quad (24)$$

где: $R_{вн}$ и $R_{тр}$ – термические сопротивления внутренней поверхности и стенки трубы, которыми вследствие их малых значений пренебрегают, т.е. $R_{вн} \approx 0$ и $R_{тр} \approx 0$; $R_{п.сл}$ – термическое сопротивление поверхностного (защитного) слоя изоляции.

$$R_{п.сл} = \frac{\ln \frac{D_{п.сл}}{D_{из}}}{2\pi\lambda_{п.сл}}. \quad (25)$$

R_n – термическое сопротивление переходу тепла от поверхности изоляции к воздуху.

$$R_n = \frac{1}{\pi D_{п.сл} \alpha_n}. \quad (26)$$

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

$$R_{кан.} = \frac{1}{\pi D_{эКВ} \alpha_{кан}}. \quad (27)$$

$R_{гр}$ – термическое сопротивление грунта, включающее термическое сопротивление от поверхности грунта к воздуху.

$$R_{ep} = \frac{\ln \frac{4h_{np}}{D_{\text{экв}}}}{2\pi\lambda_{ep}}, \quad (28)$$

R_{1-2} – термическое сопротивление, учитывающее взаимное влияние труб при бесканальной двухтрубной прокладке,

$$R_{1-2} = \psi \frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{l}\right)^2}}{2\pi\lambda_{ep}}. \quad (29)$$

R_{1-2} – при прокладке в непроходном канале,

$$R_{1-2} = \psi(R_{\text{кан}} + R_{ep}). \quad (30)$$

Величины, входящие в приведенные выше уравнения, определяются следующим образом: $D_{n.сл}$; $D_{из}$ – наружные диаметры поверхностного (защитного) слоя изоляции и наружного диаметра изоляции, м (см. Рис. 1ч). $\lambda_{n.сл}$ – коэффициент теплопроводности поверхностного слоя изоляции, $Вт/м \cdot К$, для асбоцементной штукатурки $\lambda_{n.сл} = 0,38 \text{ Вт/м} \cdot К$. Поверхностный слой изоляции выполняется в защитных целях в виде штукатурки по металлической сетке толщиной 10-20 мм. Значения $D_{n.сл}$ и $D_{из}$ предварительно задаются и уточняются последовательным приближением при $\delta_{п.сл.} = \text{const}$; α_n – коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к воздуху, $Вт/м^2 \cdot К$. При надземной прокладке определяется по уравнению:

$$\alpha_n = 11,6 + 7,0\sqrt{w_{\text{с}}}, \quad (31)$$

где: $w_{\text{с}}$ – средняя скорость ветра за три наиболее холодных месяца в районе строительства (приложение 1), м/с. Для непроходных каналов $\alpha_n = 8,14$;

$D_{\text{экв}} = \frac{4F}{P}$ – эквивалентный диаметр прямоугольного непроходного канала, м, где P – периметр, F – площадь сечения канала, определяемые по раз-

мерам типовых каналов по приложению 3 и рис. 1. Для бесканальной прокладки $D_{\text{экв}} = D_{п.сл}$; $\alpha_{\text{кон}} = \alpha_n = 8,14 \text{ Вт/м}^2 \cdot К$ – коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенкам канала; h_{np} – приведенная глубина заложения оси трубо-

провода m , зависит от действительной глубины заложения оси (h, m), принимаемой в пределах $1,5 \div 1,7$ м с учетом величины наружного диаметра конструкции ($D_{н.сл}$), коэффициента теплоотдачи грунта к воздуху ($\alpha_0 = 2 \div 3 \text{ Вт/м}^2\text{К}$), коэффициента теплопроводности грунтов ($\lambda_{гр} = 1,7; 2,3; 2,9 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ – соответственно для маловлажных, влажных и водонасыщенных грунтов), определяется по формуле

$$h_{np} = h + \frac{\lambda_{гр}}{\alpha_0}; \quad (32)$$

ψ – коэффициент, учитывающий взаимное влияние труб: для подающего трубопровода $\psi = 0,5 \div 0,6$; для обратного трубопровода $\psi = 2,0 \div 1,7$; l – расстояние между осями трубопроводов, принимаемое по данным приложения 3 и рис. 1.

Необходимая толщина изоляции трубопровода определяется по формуле

$$\delta_{из} = d_n^{ст} \frac{e^{2\pi\lambda_{из}R_{из}} - 1}{2}, \text{ м}, \quad (33)$$

где $d_n^{ст} = d_{вн}^{ст} + \delta^{ст}$ – наружный диаметр трубы, м; $\lambda_{из}$ – теплопроводность материала изоляции, $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$, который выбирается по приложению 6.

Полученный результат округляется до ближайшего целого по размерам типовых элементов изоляции (толщина плит и т.д.) из приложения 6.

Определяют наружные диаметры изоляции и поверхностного слоя

$$\begin{aligned} D_{из} &= d_n^{ст} + 2\delta_{из} \\ D_{п.сл} &= D_{из} + 2\delta_{п.сл} = d_n + 2\delta_c. \\ \delta_c &= \delta_{из} + \delta_{п.сл} \end{aligned} \quad (34)$$

По полученным значениям уточняется величина

$$\sum R_{\phi} = R_{вн} + R_{тр} + R_{из} + R_{п.сл} + R_n + R_{кон} + R_{гр} + R_{1-2}, \text{ м}\cdot\text{К/Вт}, \quad (35)$$

где:

$$R_{из} = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \cdot \ln \frac{D_{из}}{d_{н}^{ст}}. \quad (36)$$

Уточняется величина удельных потерь

$$q_{\phi} = \frac{t - t_B^p}{\sum R_{\phi}}, \text{ Вт/м}. \quad (37)$$

Основные схемы прокладки трубопроводов теплотрассы и размеры типовых элементов приведены на рис. 1 и в приложениях 3, 6.

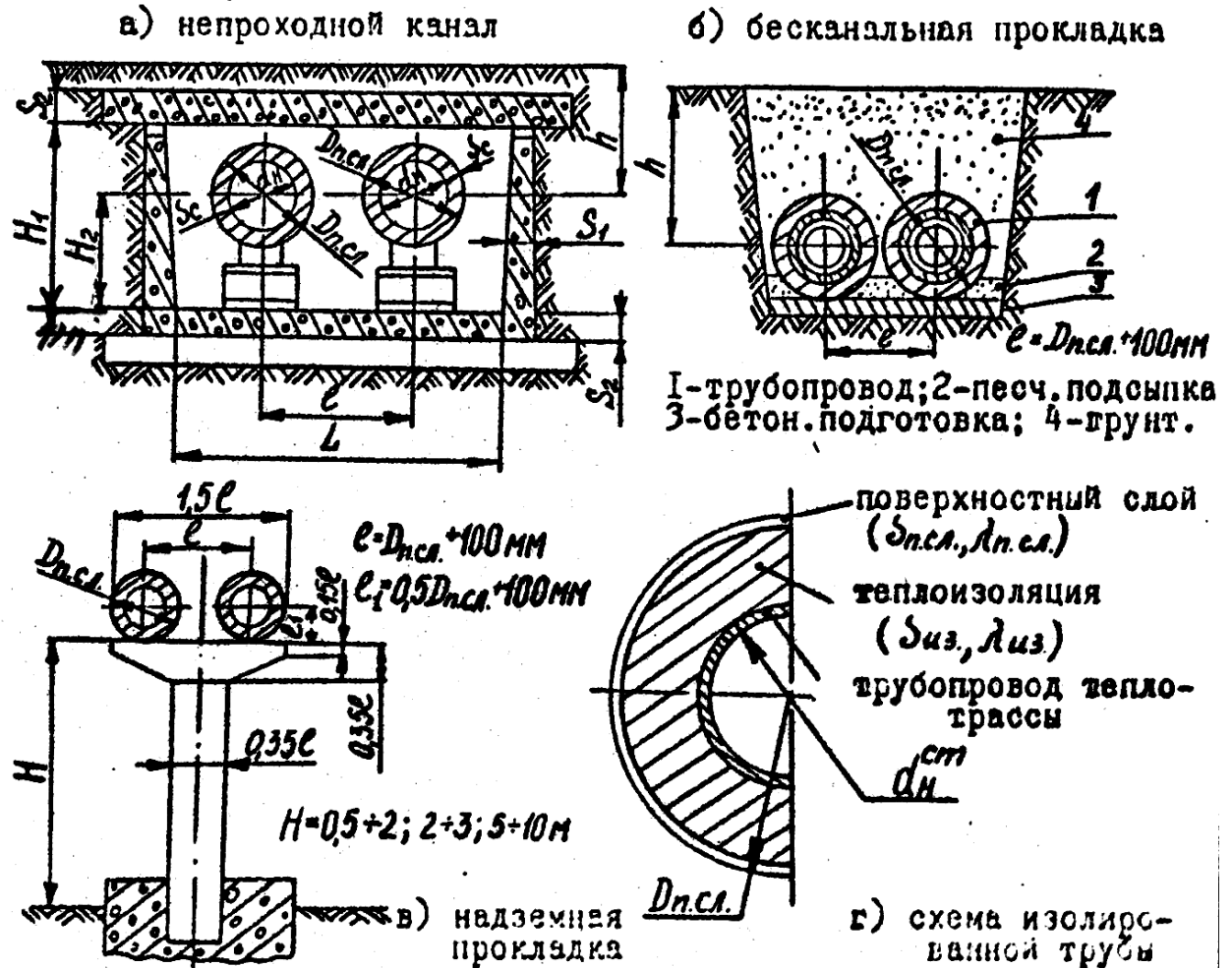


Рис. 1 – Основные схемы прокладки трубопроводов теплотрассы

Определяется суммарная потеря тепла в трубопроводе теплосети

$$Q_{тс} = q_{\phi} l (1 + \beta), \text{ Вт (МВт)}. \quad (38)$$

Определяется падение температуры теплоносителя на участке тепло-трассы заданной протяженности ($l, \text{ м}$)

$$t_{c_1} = t_c - \frac{Q_{tc}}{B_C \cdot C_B}. \quad (39)$$

3.3. Расчет годового расхода тепла и топлива на котельной, выбор основного оборудования котельной.

3.3.1. Расчет годового расхода тепла на отопление и вентиляцию.

Сезонная тепловая нагрузка (отопление и вентиляция) имеет место только в течение отопительного периода, в пределах которого она изменяется от нуля до расчетного максимума в зависимости от изменения температуры наружного воздуха.

Для определения годового расхода тепла на отопление и вентиляцию используется средняя температура отопительного периода – $t_{от}^{cp}$.

Годовой расход тепловой энергии на отопление определяется по уравнению:

$$Q_o^{год} = K_{пот} (Q_o^ж + Q_o^{общ}) \cdot \frac{t_{вн}^p - t_{от}^{cp}}{t_{вн}^p - t_{но}^p} \cdot n_{от} \cdot z_{от} \cdot 3600, \text{ МДж}, \quad (40)$$

где: $Q_o^ж$ и $Q_o^{общ}$ – максимальная суммарная тепловая нагрузка на отопление всех жилых и всех общественных зданий, *МВт*; $t_{вн}^p$, $t_{но}^p$, $t_{от}^{cp}$ – средняя расчетная температура внутреннего воздуха, расчетная температура наружного воздуха на отопление и средняя температура наружного воздуха в течение отопительного периода, °С; $n_{от}$ – продолжительность отопительного периода в году, *сут.*; $z_{от}$ – среднее число часов работы системы отопления в течение суток (принимается $z_{от} = 24$ часа); $K_{пот}$ – коэффициент потерь во внутренних сетях района, принимается $K_{пот} = 1,15 - 1,18$.

Годовой расход тепловой энергии на вентиляцию определяется по уравнению

$$Q_v^{год} = K_{пот} \cdot Q_v^{общ} \cdot \frac{t_{вн}^p - t_{от}^{cp}}{t_{вн}^p - t_{нв}^p} \cdot n_{от} \cdot z_v \cdot 3600, \text{ МДж}, \quad (41)$$

где: $Q_b^{обш}$ – максимальная суммарная тепловая нагрузка на вентиляцию всех общественных зданий, MBm ; $t_{нв}^p$ – расчетная температура наружного воздуха на вентиляцию, $^{\circ}C$; z_{θ} – среднее число часов работы системы вентиляции в течение суток (принимается $z_{\theta} = 16$ часов).

3.3.2. Расчет годового расхода тепла на горячее водоснабжение и потери в теплосети.

Круглогодичная тепловая нагрузка (горячее водоснабжение и потери в теплосети) имеет место в течение всего периода работы системы теплоснабжения, т. е., примерно 350 суток в году с учетом 15 дней, отводимых на ремонт котельной и системы теплоснабжения.

Годовой расход на горячее водоснабжение определяется из уравнения

$$Q_{ГВ}^{год} = K_{пот} \left[Q_{ГВ}^{ср.з} \cdot n_{от} \cdot z_{ГВ} + Q_{ГВ}^{ср.л} (350 - n_{от}) \cdot z_{ГВ} \right] \cdot 3600, \text{ МДж}, \quad (42)$$

где $Q_{ГВ}^{ср.з}$ и $Q_{ГВ}^{ср.л}$ – средняя тепловая нагрузка на горячее водоснабжение в зимний (отопительный) период и в летний период, рассчитываемая по уравнению 9 при $t_{хв}^z = 5^{\circ}C$ в зимний период и $t_{хв}^л = 15^{\circ}C$ в летний период; z_{θ} – продолжительность работы системы горячего водоснабжения в течении суток (принимается $z_{\theta} = 24$ часа), *час*.

Годовой расход потери в теплосети определяется из уравнения

$$Q_{ТС}^{год} = Q_{ТС} \cdot \frac{t_{ТС}^{ср} - t_{от}^{ср}}{t_{ТС} - t_{но}^p} \cdot 350 \cdot 24 \cdot 3600, \text{ МДж}, \quad (43)$$

где: $Q_{ТС}$ – максимальная потеря тепла в прямом трубопроводе теплосети, определяемая по уравнению (38) MBm ; $t_{ТС}^{ср}$ – средняя температура воды в теплосети, равная $t_{ТС}^{ср} = 0,5 (150+70) = 110^{\circ}C$.

3.3.3. Суммарный годовой расход тепловой энергии на теплоснабжение жилого района по всем видам теплопотреблениям определяется из уравнения

$$Q^{год} = K_{с.н} (Q_o^{год} + Q_b^{год} + Q_{Г.В}^{год} + Q_{ТС}^{год}), \text{ МВт}, \quad (44)$$

где: $K_{с.н}$ – коэффициент собственных нужд, учитывающий расход тепловой энергии на собственные нужды и потери в котельной, принимается ($K_{сн} = 1,1-1,15$).

3.3.4. Расчет тепловой мощности котельной и выбор основного оборудования.

Максимальная тепловая мощность котельной установки должна обеспечивать максимальную тепловую нагрузку жилого района по всем видам теплоснабжения, потери теплосети, собственные нужды и потери котельной и определяется из уравнения

$$Q_{\text{кот}} = K_{с.н} (Q_p + Q_{\text{тс}}), \text{ MBm}, \quad (45)$$

где: Q_p – максимальная суммарная тепловая нагрузка жилого района с учетом внутренних потерь (уравнение 12), MBm , $Q_{\text{тс}}$ определена по уравнению (38).

Основное оборудование котельной установки (котлоагрегата) выбирается из условия

$$2 \leq n_{\text{ка}} = \frac{Q_{\text{ку}}}{Q_{\text{ка}}} + 1 \leq 6, \quad (46)$$

где: $Q_{\text{ка}}$ – номинальная тепловая производительность принятого к установке в котельной типа котлоагрегата, MBm . Выбирается по литературным данным или по приложению 7.

3.3.5. Расчет годового расхода топлива на теплоснабжение жилого района.

Годовой расход натурального топлива на работу котельной рассчитывается по уравнению

$$B_{\text{н}}^{\text{год}} = \frac{Q^{\text{год}} \cdot 100}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ка}}} \cdot 10^{-3}, \text{ тн(тыс.м}^3\text{)/год}, \quad (47)$$

где: $\eta_{\text{ка}}$ – коэффициент полезного действия принятого к установке котлоагрегата, принимается по приложению 7, %; $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая теплота сгорания заданного топлива, $\text{МДж/кг(м}^3\text{)}$ принимается по данным литературы .

Соответственно годовой расход условного топлива равен

$$B_{\text{усл}}^{\text{год}} = B_{\text{н}}^{\text{год}} \cdot \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{29,3}, \text{ тн(тыс. м}^3\text{)/год.} \quad (48)$$

Для написания контрольной работы необходимо познакомиться и подобрать специальную научную литературу по выбранной теме. Подбор литературы производится студентом самостоятельно по заданному темой направлению. При этом следует пользоваться предметным алфавитным каталогом в читальном зале библиотеки университета и других библиотеках. Отбирать следует литературу, которая освещает как общетеоретическую сторону проблемы, так и действующую практику. При этом студент может составить список, включая в него литературу, изданную, за последние пять лет, отечественные стандарты и иностранный материал.

Особое внимание следует обратить на научные публикации в специальных журналах за последние два года. Перечень всех статей за год содержится в последнем номере журналов.

Сначала следует изучить основную литературу (учебники, пособия), а затем перейти к работам исследовательского характера. Особенно следует обратить внимание на дискуссионные статьи в журналах и позиции тех или иных авторов, продумать их аргументацию, что позволит сделать правильное сопоставление различных точек зрения и сформировать свое отношение к ним.

4. Порядок защиты и ответственность студента за выполнение контрольной работы

Выполнение работы проверяется руководителем, который дает допуск к защите или возвращает её на доработку. При положительном заключении работа допускается к защите, при наличии замечаний возвращается на доработку. При подготовке к защите контрольной работы студент обязан повторить теоретический материал дисциплины и подготовить доклад по материалу работы. В докладе следует изложить сущность работы, методы решения задач, наиболее важные результаты и выводы по работе. После доклада студенту могут быть заданы вопросы, как по содержанию работы, так и по курсу в целом.

Оценка уровня выполнения контрольной работы, а также степени усвоения теоретического материала производится преподавателем – руководителем контрольной работы. Оценка за контрольную работу выставляется дифференцированно. Основными факторами, влияющими на оценку работы, являются:

- самостоятельность выполнения работы;
- уровень теоретической подготовки студента;
- грамотность и практическая ценность принятых решений;
- качество оформления всех материалов контрольной работы;
- подготовленность доклада и правильность ответов на вопросы при защите контрольной работы.

5. Список рекомендованной литературы

5.1. Основная литература:

1. Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений / Под ред. Ю.П. Соснина – М.: Высшая школа, 2001-415 с.
2. Теплотехника / Под редакцией В.Н. Луканина. – М.: Высш. шк., 1999 – 671с.

5.2 Дополнительная литература:

1. Теплоснабжение / Под ред. А.А. Ионина – М.: Стройиздат, 1982 – 336 с.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети – М.: Энергоиздат, 1982 – 360 с.
3. СНИП 2.01.-82 Строительная климатология и геофизика.
4. Зыков А.К. Паровые и водогрейные котлы: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1987 – 128 с.
5. Тихомиров К.В., Сергеев Э.С. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. – М.: Стройиздат, 1991 – 480 с.

6. Приложения

Приложение 1 – Климатологические данные по заданным городам
(СНиП 2.01.01-82)

№ п/п	Район строи- тельства (го- род)	Температуры отопительного периода, °С				Скорость ветра в январе w_v , м/с	Продолжитель- ность отопитель- ного периода, сут.
		Абсолютный минимум	Расчетная на отопление $t_{нд}^p$	Расчетная на вентиляцию $t_{нд}^в$	Средняя $t_{но}^{cp}$		
1	Волгоград	-36	-25	-13	-3,4	8,1	182
2	Казань	-47	-32	-18	-5,7	5,7	218
3	Махачкала	-26	-14	-2	2,6	8,5	151
4	Москва	-40	-26	-15	-3,6	4,19	213
5	Ростов н/Д	-33	-22	-8	-1,1	6,5	175
6	Сочи	-15	-3	2	6,4	6,5	90
7	Ставрополь	-36	-19	-7	0,3	7,4	164
8	Томск	-55	-40	-25	-8,8	5,6	234
9	Хабаровск	-43	-31	-23	-10,1	5,9	205
10	Чита	-49	-38	-31	-12,4	3,9	238

Приложение 2 – Основные нормативные характеристики
общественных зданий

№ п/п	Вид общественного здания	Приведенный объем здания на 1000 жит., m^3	Предельные значения строит. объемов типовых зданий, m^3	Средняя тем-ра воздуха в помещениях	Нормативный коэф-т отопительной характеристики здания, q_{ni} , Bm/m^3K	Уд. вентиляц. характеристика здания q_{Bi} , Bm/m^3K
1	2	3	4	5	6	7
1	Детские сады-ясли	2840	3000-18000	21	0,26	0,12
2	Школы	2755	6000-24000	18	0,23	0,1
3	Административные здания всех видов	3500	5000-20000	18	0,24	0,12
4	Медицинские учреждения, больницы и др.	2750	2000-30000	20	0,22	0,32
5	Учреждения культуры (театры, кино и др.)	1600	3500-16000	16	0,21	0,45
6	Предприятия торговли (магазины, универмаги и др.)	1300	3000-20000	14	0,25	0,48
7	Предприятия общественного питания	500	1000-15000	16	0,24	0,8
8	Бани, прачечные и др.	1000	2000-10000	25	0,16	1,05
9	Спортивные сооружения	1050	4000-20000	22	0,18	0,65
10	Гостиницы	700	6000-24000	20	0,20	0,1

Приложение 3 – Конструктивные характеристики непроходных каналов

Условный диаметр труб D_y , мм	Размер труб		Предельная толщина изоляции $D_{n.сл}$, мм	Тип канала	Размер канала, мм					
	Диаметр d_n , мм	Толщина стенки δ^m , мм			H_2	H_1	l	L	Толщина стенки	
									S_1	S_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
25	32	2,0-7,0	70	КЛ-60-30	167	300	280	600	80	120
32	38	2,0-9,0			171					
40	45	2,0-10,0			174					
50	57	2,0-12,0	100	КЛ-60-45	224	460	280	600	80	120
70	76	2,0-18,0			234					
80	89	2,0-22,0			241					
100	108	2,0-28,0	150	КЛ-90-45	255	460	400	900	100	140
125	133	3,0-32,0			268					
150	159	3,0-36,0	170	КЛ-90-60	281	590	400	900	100	140
175	194	4,0-45,0	180	КЛ-120-60	298	590	540	1200	120	180
200	219	6,0-50,0			311					
250	273	7,0-50,0			338					
300	325	8,0-75,0	190	КЛ-150-90	364	840	660	1500	140	200
350	377	9,0-75,0	200		440					

Примечание: значение S^{cm} 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.

Приложение 4 – Нормы тепловых потерь для изолированной поверхности
теплопровода с 1 м длины при температуре окружающего
воздуха $t_o = + 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $q_n^o, \text{Вт/м}$

Наружный диаметр труб, мм	Температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$		
	100	150	200
	Тепловые потери, Вт/м		
32	33	50	67
48	36	57	76
57	37	62	81
76	43	67	91
108	52	79	105
159	70	98	130
219	81	116	154
273	91	129	170
325	100	142	186
377	107	152	204
426	114	163	221
529	140	198	256

Приложение 5 – Поправочный коэффициент к нормам тепловых потерь
в зависимости от температуры окружающего воздуха (t_o), K_n

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

Приложение 6 – Характеристики основных изоляционных материалов

№ п/п	Наименование типа изоляции	Мар- ка	Объем- ный вес, $\text{кг}/\text{м}^3$	Толщина стандартно- го эл-та, мм	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$	Область применения
1	Маты минера- ловатные про- шивные	150 200 250	180-200 240-250 300	40,60,80	$0,049+0,0002t_{cp}$ $0,053+0,00019t_{cp}$ $0,059+0,00019t_{cp}$	Для труб с диаметром свыше 219мм. Темпера- тура до 250 °С
2	Маты и полосы из стеклянного волокна		200	10,15,20,30, 50	$0,042+0,00023t_{cp}$	Маты для труб с диа- метром свыше 108 мм, полосы – от 25 до 108 мм Температура до 450°С
3	Маты и плиты полужесткие стекловатные	50 70	100 150	30,40,50,60, 70,80	$0,0465+0,00035t_{cp}$ $0,0465+0,00023t_{cp}$	Маты для труб с диа- метром – 325 мм. Тем- пература до 180 °С
4	Асбоцементная штукатурка, скорлупы	1600 - 1900	10,15,2 0	0,38		

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

**Приложение 7 – Технические характеристики теплогенераторов для
коммунальных отопительных теплогенерирующих установок**

№ п/п	Тип тепло- генератора	Номинальная тепловая мощность ТГ, <i>МВт</i>	Производи- тельность ТГ по теплоно- сителю, <i>т/ч</i>	Тепло- носитель	Параметры теплоносителя <i>МПа, °C</i>	Вид сжи- гаемого топлива	КПД ТГ %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Е-1,0- 9Г(Ж)	0,75 0,75	1,0 1,0	пар	$P=0,9 \text{ МПа}$ $t=175 \text{ }^{\circ}\text{C}$	газ (г) мазут (Ж)	86 84
2	Е-1/9-1	0,75	1,0	пар	$P=0,9 \text{ МПа}$ $t=175 \text{ }^{\circ}\text{C}$	каменный уголь	73
	Е-1/9-1М	0,75	1,0	пар	$P=0,9 \text{ МПа}$ $t=175 \text{ }^{\circ}\text{C}$	мазут	80
	Е-1/9-1Г	0,75	1,0	пар	$P=0,9 \text{ МПа}$ $t=175 \text{ }^{\circ}\text{C}$	газ	86
3	ДКВР-2,5- 13	1,94	2,5	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ Мпа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	каменный уголь бурый уголь газ мазут	81,9 75,6 90,4 89,6
4	ДКВР-4,0- 13	3,1	4,0	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	камен. уг бур. уголь газ мазут	82,1 75,8 90,8 89,8
5	ДКВР-6,5- 13	5,04	6,5	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	камен. уг бур. уголь газ мазут	83,1 76,7 91,4 90,4
6	ДКВР-10- 13	7,75	10,0	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	камен. уг. бур. уголь газ мазут	83,5 77,5 91,8 90,8

Продолжение приложения 7

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Е-4-14 ГМ	3,1	4,0	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	газ мазут	89,4 88,2
8	Е-6,5-14-ГМ	5,04	6,5	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	газ мазут	90,1 88,8
9	Е-10-14-ГМ	7,75	10,0	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	газ мазут	90,8 89,8
10	ТВГ-4	5	54	горяч. вода	$t_{26}=70/150$	газ	90,0
11	ТВГ-8	9,65	104	Горяч. вода	$t_{26}=70/150$	газ	90,3
12	КВ-ТС-10(ТСВ)	11,63	123,5	Горяч. вода	$t_{26}=70/150$	камен. уг бур. уголь	83,5 81,7
13	КВ-ТС-20(ТСВ)	23,3	247	Горяч. вода	$t_{26}=70/150$	камен. уг бур. уголь	83,8 81,8
14	КВ-ГМ-10	11,63	123,5	Горяч вода	$t_{26}=70/150$	газ мазут	91,5 88,5
15	КВ-ГМ-20	23,3	247	Горяч вода	$t_{26}=70/150$	газ мазут	91,8 88,8