

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению практических расчетов
для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство»
(программа магистерской подготовки «Теплогазоснабжение населенных
мест и предприятий» всех форм обучения*

Воронеж 2023

УДК 697.326.2(07)
ББК 31.361я7

Составитель Д. Н. Китаев

Автономные системы теплоснабжения: методические указания к выполнению практических расчетов для студентов направления 08.04.01 «Строительство» (программа магистерской подготовки «Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Д. Н. Китаев. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2023. - 23 с.

Методические указания содержат методики практических расчетов автономных источников теплоснабжения.

Предназначены для студентов магистратуры направления 08.04.01 «Строительство» (программа магистерской подготовки «Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_АСТ_ПР.pdf.

Ил. 8. Табл. 5. Библиогр.: 10 назв.

УДК 697.326.2(07)
ББК 31.361я7

*Рецензент – Т. В. Щукина, канд. техн. наук, доцент кафедры
жилищно-коммунального хозяйства ВГТУ*

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

В дополнение к централизованному теплоснабжению используется децентрализованное, в частности автономные системы теплоснабжения АСТ. Нормативная база проектирования автономных систем расширяется и регулярно обновляется. В крупных городах при невозможности подключения к централизованным источникам теплоты, широко используют интегрированные в здания источники к которым относят крышные, встроенные и пристроенные котельные. Центральные части городов застроены историческими зданиями культурного наследия и часто происходит «точечное» строительство, как правило, один или два дома. При строительстве целых кварталов проблемным является отвод земли под источник теплоснабжения малой или средней мощности, т.к. необходима значительная территория с учетом санитарно-защитной зоны. В последние годы автономным системам отдают предпочтение при строительстве высотных зданий.

К достоинствам автономных систем теплоснабжения традиционно относят отсутствие тепловых сетей, полную автоматизацию выработки теплоты и ее регулирование по наружной температуре воздуха, возможность использования более эффективных газотрубных котлов, быстрый ввод в эксплуатацию и малые габариты. Многие из перечисленных достоинств могут быть оспорены централизованными системами при достаточном уровне энергоэффективности проектов крупных, особенно комбинированных источников теплоснабжения. Возможность построить источник генерации теплоты на том же месте, что и здание, является бесспорной и это особенно актуально в современных условиях строительства жилищного фонда.

Важную роль в процессе проектирования автономных систем теплоснабжения играет умение осуществлять практические расчеты. Методикам практических расчетов посвящены методические указания. Они способствуют развитию практических навыков в расчетах автономного теплоснабжения зданий.

Данные методические указания предназначены для аудиторной и самостоятельной работы бакалавров направлений подготовки 08.04.01 «Строительство» (профиль «Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий») всех форм обучения. Также полезны для студентов, изучающих дисциплины, связанные источниками теплоснабжения и специалистов, осуществляющих практические расчеты. Приведенные в методических указаниях примеры расчетов способствуют лучшему усвоению теоретического материала и комплексному анализу полученных результатов.

В методических указаниях рассматриваются вопросы расчета тепловых нагрузок здания, выбора типа и числа водогрейных котлов, поверочного расчета дымовой трубы при естественной тяге, себестоимости выработки теплоты. Методические указания составлены с учетом современных нормативов в области проектирования.

Вариант для расчетов студент принимает по заданию преподавателя. В каждом разделе есть таблицы с исходными данными, необходимыми для расчетов.

1. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК

Для административного здания рассчитать максимальные, средние и годовые расходы теплоты согласно приложению А СП 373.1325800.2018[1]. Исходные данные принять по табл. 1.1.

Таблица 1.1

Исходные данные

№ Варианта	Город	Число этажей	Год постройки	Площадь, F , м ²	число человек, m
1	Архангельск	3	до 2000	5500	375
2	Белгород	4		6000	400
3	Брянск	5		6500	425
4	Владимир	6		7000	450
5	Волгоград	7		7500	475
6	Вологда	8		8000	500
7	Воронеж	9		8500	525
8	Иваново	10		9000	550
9	Калуга	11		9500	575
10	Курган	12		10000	600
11	Курск	13		10500	625
12	Липецк	14		11000	650
13	Йошкар-Ола	15		11500	675
14	Саранск	16		12000	700
15	Мурманск	17		12500	725
16	Новосибирск	3	после 2000	7200	460
17	Омск	4		7400	470
18	Орел	5		7600	480
19	Пенза	6		7800	490
20	Владивосток	7		8000	500
21	Великие Луки	8		8200	510
22	Ростов-на-Дону	9		8400	520
23	Саратов	10		8600	530
24	Смоленск	11		8800	540
25	Тамбов	12		9000	550
26	Казань	13		9200	560
27	Тула	14		9400	570
28	Тюмень	15		9600	580
29	Хабаровск	16		9800	590
30	Ярославль	17		10000	600

2. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Используя полученные результаты в п.1 необходимо рассчитать и построить графики часового расхода тепла (пример см. рис.2.1), по продолжительности стояния температур наружного воздуха (пример см. рис.2.2), годовой график теплотребления по месяцам (пример см. рис.2.3), температурный график регулирования тепловой нагрузки (пример см. рис.2.4) [2].

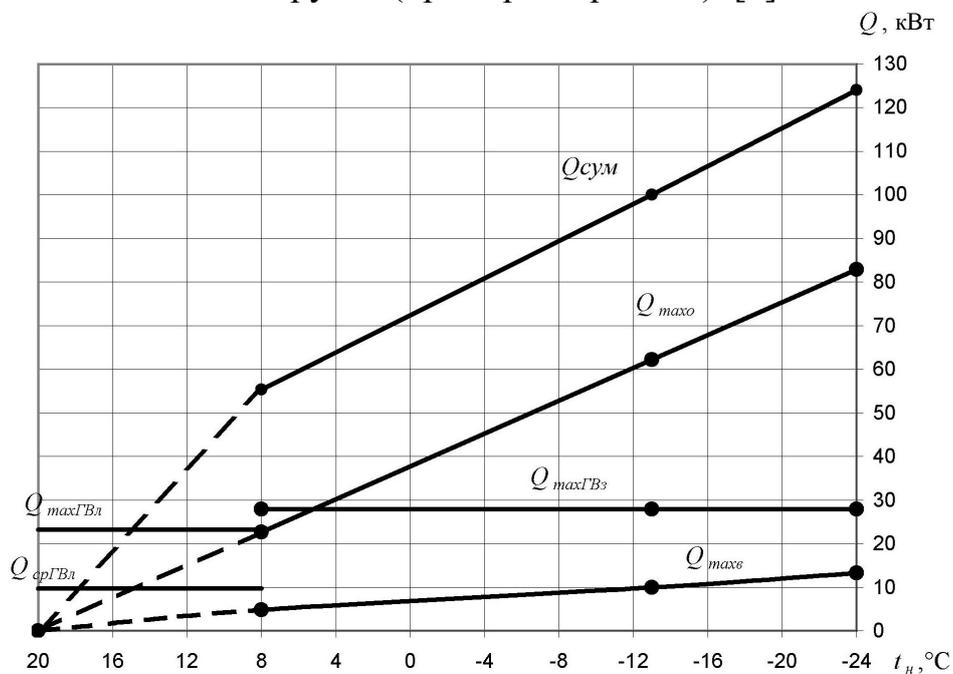


Рис. 2.1. График расхода теплоты

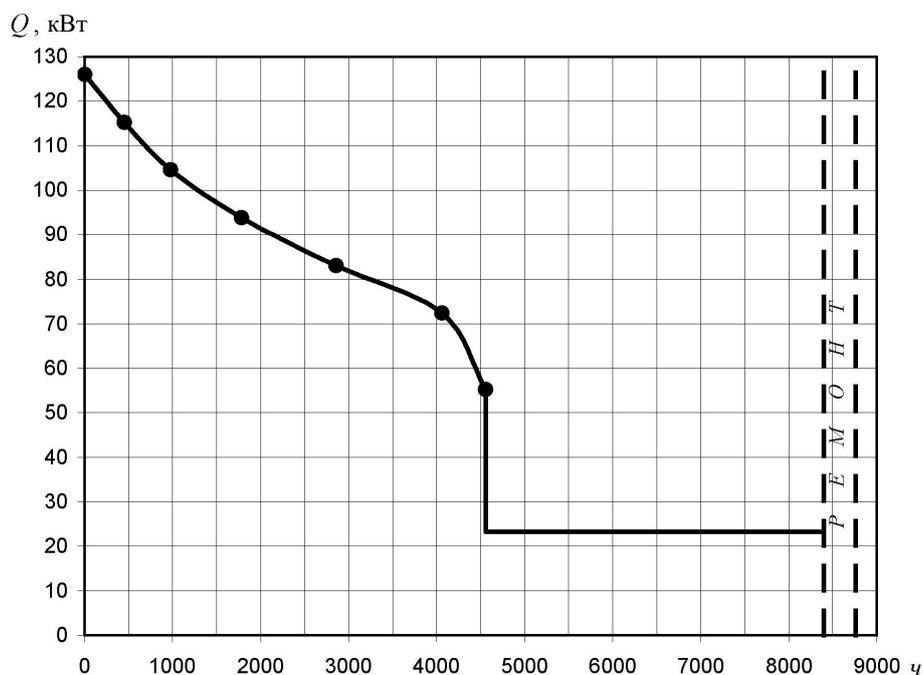


Рис. 2.2. График по продолжительности стояния температур наружного воздуха

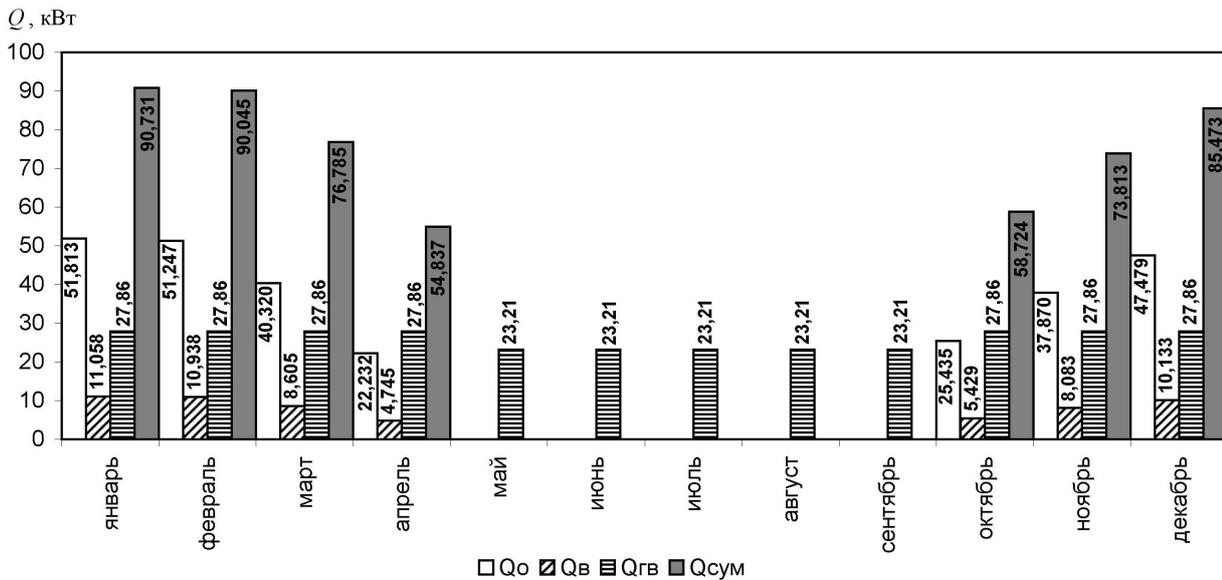


Рис. 2.3. График расхода теплоты по месяцам

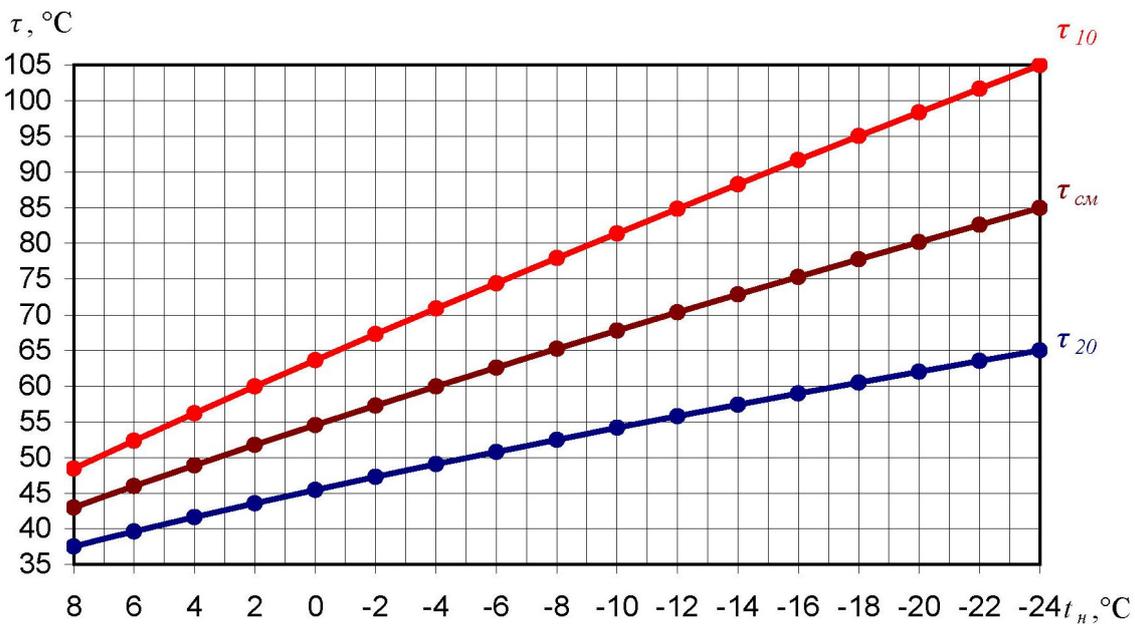


Рис. 2.4. Температурный график 105/70

3. ВЫБОР ТИПА И ЧИСЛА ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

Выбрать тип и число котлов автономного источника теплоснабжения для потребителей второй категории надежности. Процент собственных нужд котельной $d_{сн} = 1\%$. Максимальную тепловую нагрузку отопления Q_o^{\max} , вентиляции Q_v^{\max} , горячего водоснабжения в отопительный $Q_{гвс}^з$ и неотопительный $Q_{гвс}^л$ периоды, принять по табл. 3.1.

Число и единичную производительность котлов, устанавливаемых в котельной автономной системы, следует выбирать по расчетной производи-

ности, проверяя устойчивость работы при трех режимах [1]. В случае выхода из строя наибольшего по производительности котла, оставшиеся должны обеспечить отпуск теплоты на следующие цели:

- технологическое теплоснабжение системы вентиляции – в количестве, определяемом минимально допустимыми нагрузками (независимо от температуры наружного воздуха);

- отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение – в количестве, определяемом режимом наиболее холодного месяца.

В дальнейшем минимальное значение подачи тепла будем обозначать $Q_{мин}$.

Допускается установка дополнительного котла, обеспечивающего нагрузку горячего водоснабжения в летнем режиме.

Таблица 3.1

Исходные данные для выбора типа и числа котлов

№ Варианта	Нагрузки, МВт				№ Варианта	Нагрузки, МВт			
	Q_o^{max}	Q_v^{max}	$Q_{звс}^з$	$Q_{звс}^л$		Q_o^{max}	Q_v^{max}	$Q_{звс}^з$	$Q_{звс}^л$
1	4	0,1	0,8	0,64	16	1	0,85	0,2	0,16
2	3,8	0,15	0,76	0,608	17	3,9	0,1	0,78	0,624
3	3,6	0,2	0,72	0,576	18	3,7	0,7	0,74	0,592
4	3,4	0,25	0,68	0,544	19	3,5	0,65	0,7	0,56
5	3,2	0,3	0,64	0,512	20	3,3	0,6	0,66	0,528
6	3	0,35	0,6	0,48	21	3,1	0,55	0,62	0,496
7	2,8	0,4	0,56	0,448	22	2,9	0,5	0,58	0,464
8	2,6	0,45	0,52	0,416	23	2,7	0,45	0,54	0,432
9	2,4	0,5	0,48	0,384	24	2,5	0,4	0,5	0,4
10	2,2	0,55	0,44	0,352	25	2,3	0,35	0,46	0,368
11	2	0,6	0,4	0,32	26	2,1	0,3	0,42	0,336
12	1,8	0,65	0,36	0,288	27	1,9	0,25	0,38	0,304
13	1,6	0,7	0,32	0,256	28	1,7	0,2	0,34	0,272
14	1,4	0,75	0,28	0,224	29	1,5	0,15	0,3	0,24
15	1,2	0,8	0,24	0,192	30	1,3	0,1	0,26	0,208

Тепловая мощность автономной котельной определяется суммой расчетных часовых расходов тепловой энергии на отопление, вентиляцию, кондиционирование (максимальные тепловые нагрузки), средних часовых расходов на горячее водоснабжение, расчетных нагрузок на технологические нужды (при наличии), расходов теплоты на собственные нужды[1].

Определяем суммарную мощность котельной Q , по тепловой нагрузке в отопительном периоде

$$Q = Q_o^{max} + Q_v^{max} + Q_{звс}^з, \text{ МВт.} \quad (3.1)$$

Определяем затраты на собственные нужды котельной

$$Q_{ch} = \frac{d_{ch} Q}{100}, \text{ МВт.} \quad (3.2)$$

Находим расчетную тепловую мощность котельной в отопительном периоде Q_p^{on} по формуле

$$Q_p^{on} = Q + Q_{ch}, \text{ МВт.} \quad (3.3)$$

Необходимо определить расчетную тепловую мощность котельной в неотапливаемый период Q_p^{non} по формулам (3.1)-(3.3), учитывая отсутствие отопительной и вентиляционной нагрузки.

Число и производительность котлов, установленных в котельной, следует выбирать, обеспечивая расчетную производительность и стабильную работу котлов при минимально допустимой нагрузке в теплый период года.

В первом приближении принимаем минимально возможное количество котлов n , регламентированное [4].

Находим единичную мощность одного котла

$$N_1 = \frac{Q_p^{on}}{n}, \text{ МВт.} \quad (3.4)$$

По каталогу водогрейных котлов подбираем n котлов одинаковой мощности $N_{1кат}$, соблюдая условия $N_{1кат} \geq N_1$. Можно воспользоваться справочными данными по единичной мощности котлов. В качестве примера в таблице 3.2 представлены единичные мощности котлов отечественного производства.

Таблица 3.2

Справочные данные по мощности котлов, $N_{1кат}$

Тип котла	Мощность котла, кВт											
	КСВа	250	280	300	400	500	540	630	750	1000	1500	-
КВа	400	500	600	800	1000	1100	1250	1500	1600	-	-	-
Лаварт	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000

Установленная мощность котельной составит:

$$Q_{уст} = nN_{1кат}, \text{ МВт.} \quad (3.5)$$

Необходимо чтобы выполнялось неравенство $N_{n-1} \geq Q_{мин}$. Если неравенство верно, то проверяют минимальную загрузку котла в летний период. В противном случае, необходимо увеличить число котлов ($n+1$) и повторить вычисления по формулам (3.4)-(3.5).

В летний период загрузка котла составит

$$\frac{Q_p^{ноп}}{N_{кат}} 100\%. \quad (3.6)$$

Полученное значение загрузки котла в неотапительный период не должно быть меньше минимального значения, указанного в паспорте котла. Если загрузка котла меньше допустимой, то необходимо принять большее число котлов и повторить расчет по формулам (3.4)-(3.6).

Функциональная схема котла КСВа-0,5 представлена на рис. 3.1, а разрез на рис. 3.2.

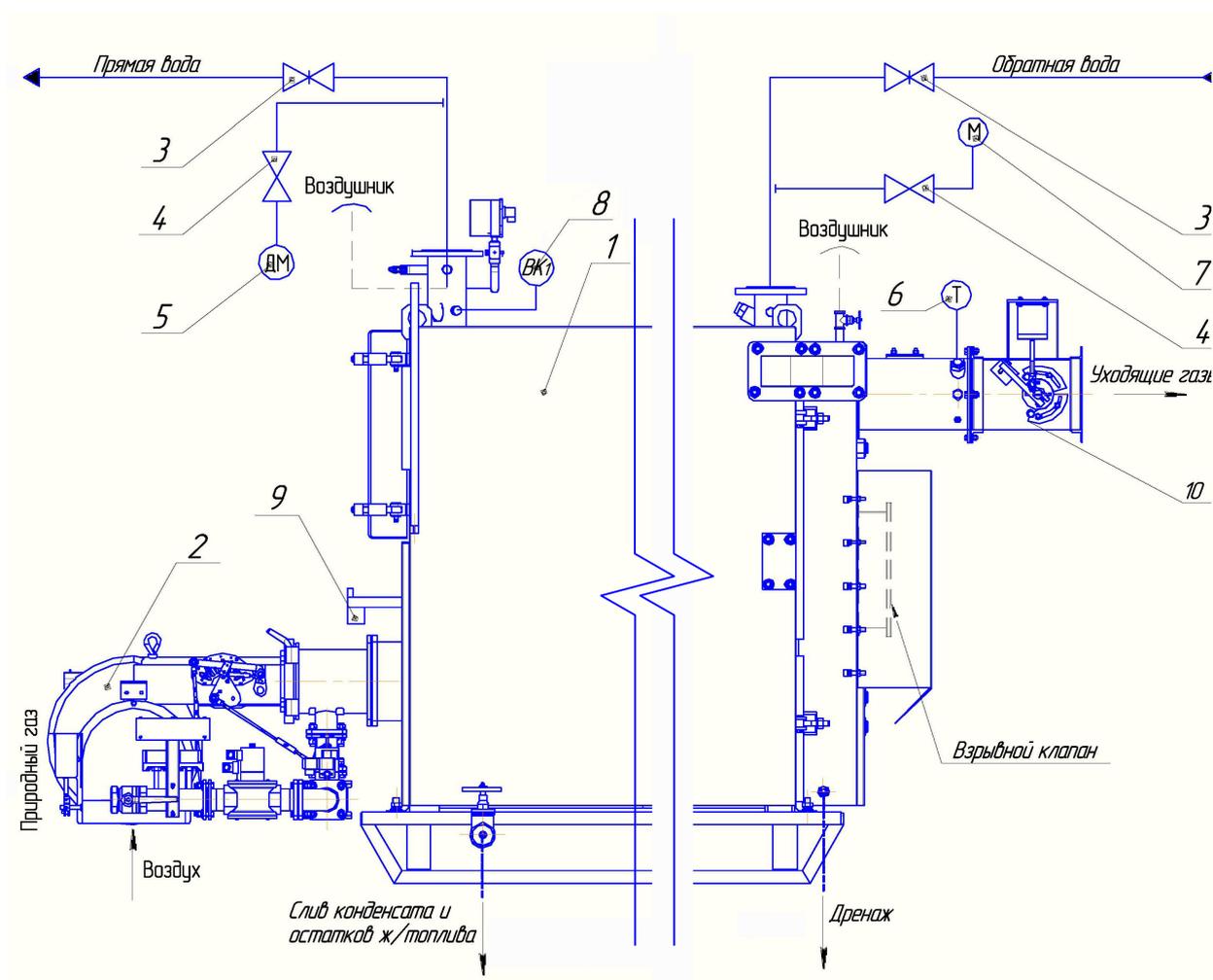


Рис. 3.1. Функциональная схема котла КСВа-0,5:

- 1 - котел; 2 - горелка; 3 - задвижка ; 4 - кран трехходовой; 5 - манометр;
- 6 - термометр; 7 - манометр; 8 - термопреобразователь сопротивления с измерителем температуры; 9 - датчик давления в топке; 10 - шибер с электромагнитом

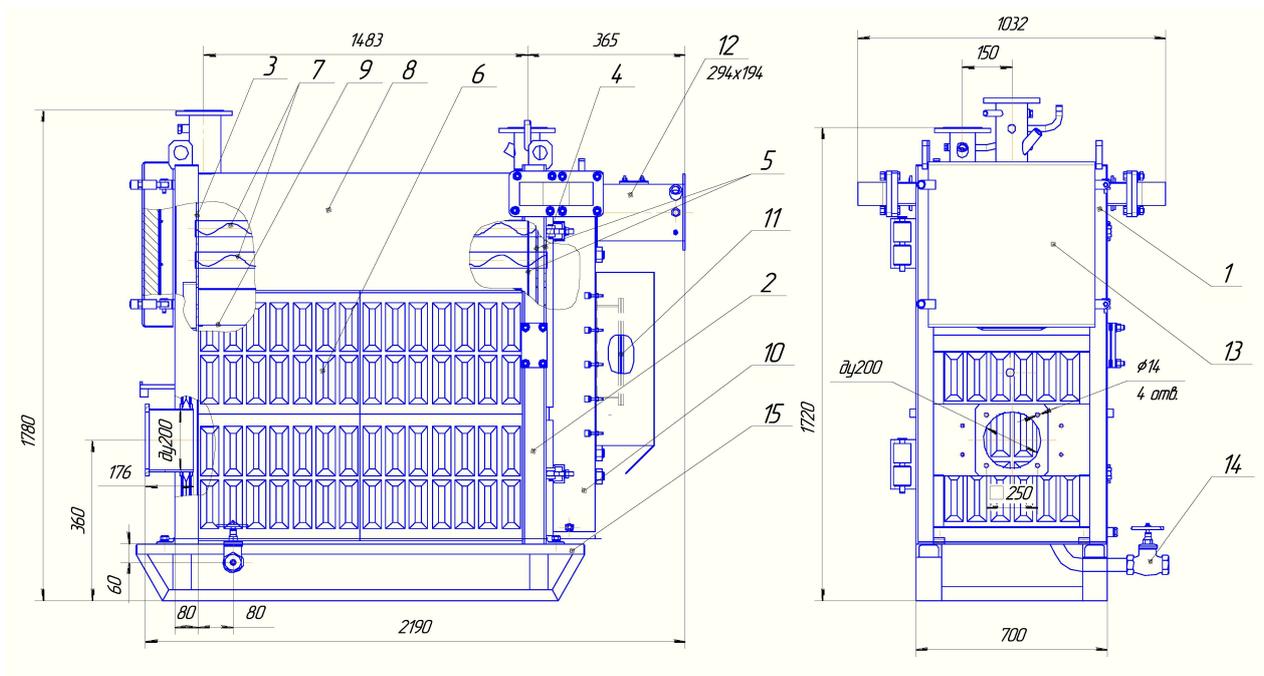


Рис. 3.2. Разрез котла КСВа:

1 – передняя водяная камера; 2 – задняя водяная камера; 3 – задняя трубная доска; 4 – трубная доска; 5- промежуточные трубные доски (2 штуки); 6 – боковые стенки; 7 - дымогарные трубы; 8 – дымогарный барабан; 9 – щелевой канал со змеевиковым движением воды; 10 – задняя водоохлаждаемая дверь; 11- взрывной предохранительный клапан; 12 – дымоход; 13 - крышка; 14 – патрубок с вентилем; 15 – опорная рама

4. РАСЧЕТ РАСХОДОВ ВОДЫ И ВЫБОР НАСОСОВ

В интегрированных в здание автономных источниках теплоснабжения (АИТ) при двухконтурной схеме необходимо устанавливать следующие группы насосов [1]:

- насосы к подогревателям отопления, вентиляции и горячего водоснабжения;
- сетевые насосы систем отопления (насосы вторичного контура);
- сетевые насосы систем горячего водоснабжения;
- циркуляционные насосы горячего водоснабжения.

Подачу насосов, кг/ч, первичного контура определяем по формуле

$$G_1 = \frac{3,6(Q_{\max o} + Q_{\max \epsilon} + Q_{\text{свmax}})}{c(\tau_1 - \tau_2)} 10^6, \quad (4.1)$$

где G_1 – расчетный максимальный расход греющей воды от котлов, кг/ч; $Q_{\text{свmax}}$ – расчетная максимальная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение, МВт; τ_1 – температура греющей воды на выходе из котлов, °С; τ_2 – температура обратной воды на входе в котел, °С; c – удельная теплоемкость воды, принимаемая в расчетах равной 4,187 кДж/(кг·°С);

Напор насосов первичного контура на 20–30 кПа больше суммы потерь давления в трубопроводах от котлов до подогревателя, в подогревателе и котле.

Подачу насосов, кг/ч, вторичного контура определяем по формуле

$$G_{об} = \frac{3,6(Q_{\max o} + Q_{\max с})}{c(\tau_{1o} - \tau_{2o})} 10^6, \quad (4.2)$$

где $G_{об}$ – расчетный максимальный расход воды на отопление и вентиляцию, кг/ч; τ_{1o} – температура воды в подающем трубопроводе системы отопления при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления, °С; τ_{2o} – температура воды в обратном трубопроводе системы отопления вторичного контура, °С.

Напор насосов вторичного контура принимаем на 25 кПа больше потерь давления в системе отопления.

Подачу сетевых насосов, кг/ч, горячего водоснабжения определяем по формуле

$$G_{св} = \frac{3,6Q_{св \max}}{c(\tau_1 - \tau_2)} 10^6. \quad (4.3)$$

Напор сетевых насосов горячего водоснабжения принимаем на 25 кПа больше суммы потерь давления в трубопроводах от котлов до подогревателя горячего водоснабжения, в подогревателе горячего водоснабжения и котле.

Максимальный расчетный часовой расход воды на горячее водоснабжение, кг/ч, рассчитываем по формуле

$$G_{св \max} = \frac{3,6Q_{св \max}}{c(t_1 - t_2)} 10^6, \quad (4.4)$$

где t_1, t_2 - температура горячей и холодной воды соответственно, °С.

Подачу циркуляционных насосов горячего водоснабжения принимаем в размере 10 % расчетного расхода воды на горячее водоснабжение:

$$G_{цсв} = 0,1G_{св \max}. \quad (4.5)$$

При выборе насосов необходимо предусмотреть запас 20 % по напору, определенному по сумме гидравлических потерь.

По результатам расчета необходимо выбрать конкретные типы насосов и указать их характеристики.

5. КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ

При размещении и компоновке котельной автономной системы теплоснабжения необходимо соблюдать требования нормативов [1,5,6].

Для теплоснабжения общественных, административных и бытовых зданий допускается проектирование встроенных, пристроенных и крышных АИТ.

Не допускается размещение пристроенного АИТ со стороны главного фасада здания. Расстояние от стены здания котельной до ближайшего окна на стене здания должно быть не менее 4 м по горизонтали, а от перекрытия АИТ до ближайшего окна здания по вертикали – не менее 8 м.

Встроенные и крышные АИТ не допускается размещать смежно, под и над помещениями с одновременным пребыванием в них более 50 человек. Не допускается размещать встроенные АИТ над и под помещениями с массовым пребыванием людей (фойе и зрительными залами, торговыми помещениями магазинов, залами столовых ресторанов, кафе, раздевальными помещениями бань и др.)

Из встроенных АИТ допускается предусматривать один эвакуационный выход (без устройства второго), в том числе через коридор или лестничную клетку, если расстояние от наиболее удаленного рабочего места до выхода наружу или лестничную клетку не превышает 25 м.

Крышные АИТ следует выполнять одноэтажными. Пол АИТ должен иметь гидроизоляцию, рассчитанную на высоту залива водой до 10 см.

Несущие конструкции основного здания должны быть рассчитаны на воздействие статических и динамических нагрузок самого здания котельной, оборудования и трубопроводов, заполненных водой.

Несущие и ограждающие конструкции основного жилого здания не могут быть строительными конструкциями здания интегрированного АИТ. При этом крышный АИТ должен быть изолирован от основного здания полом «плавающего» типа.

Размещение котлов и вспомогательного оборудования в АИТ (расстояние между котлами и строительными конструкциями, размеры проходов), а также устройство площадок и лестниц для обслуживания оборудования следует предусматривать в соответствии с паспортами-инструкциями по эксплуатации котлов и вспомогательного оборудования.

Для технического обслуживания и демонтажа должен быть обеспечен свободный проход не менее 700 мм.

Для монтажа оборудования Высоту помещения АИТ следует определять из условия обеспечения свободного доступа к выступающим частям эксплуатируемого оборудования.

Расстояние по вертикали от верха обслуживаемого оборудования до низа выступающих строительных конструкций (в свету) должно быть не менее 1 м. При этом минимальная высота помещения АИТ от отметки чистого пола до низа выступающих конструкций перекрытия (в свету) должна быть не менее 2,5 м.

На практическом занятии необходимо изобразить компоновочный чертеж автономного источника теплоснабжения с указанием размеров (пример см. рис. 5.1)

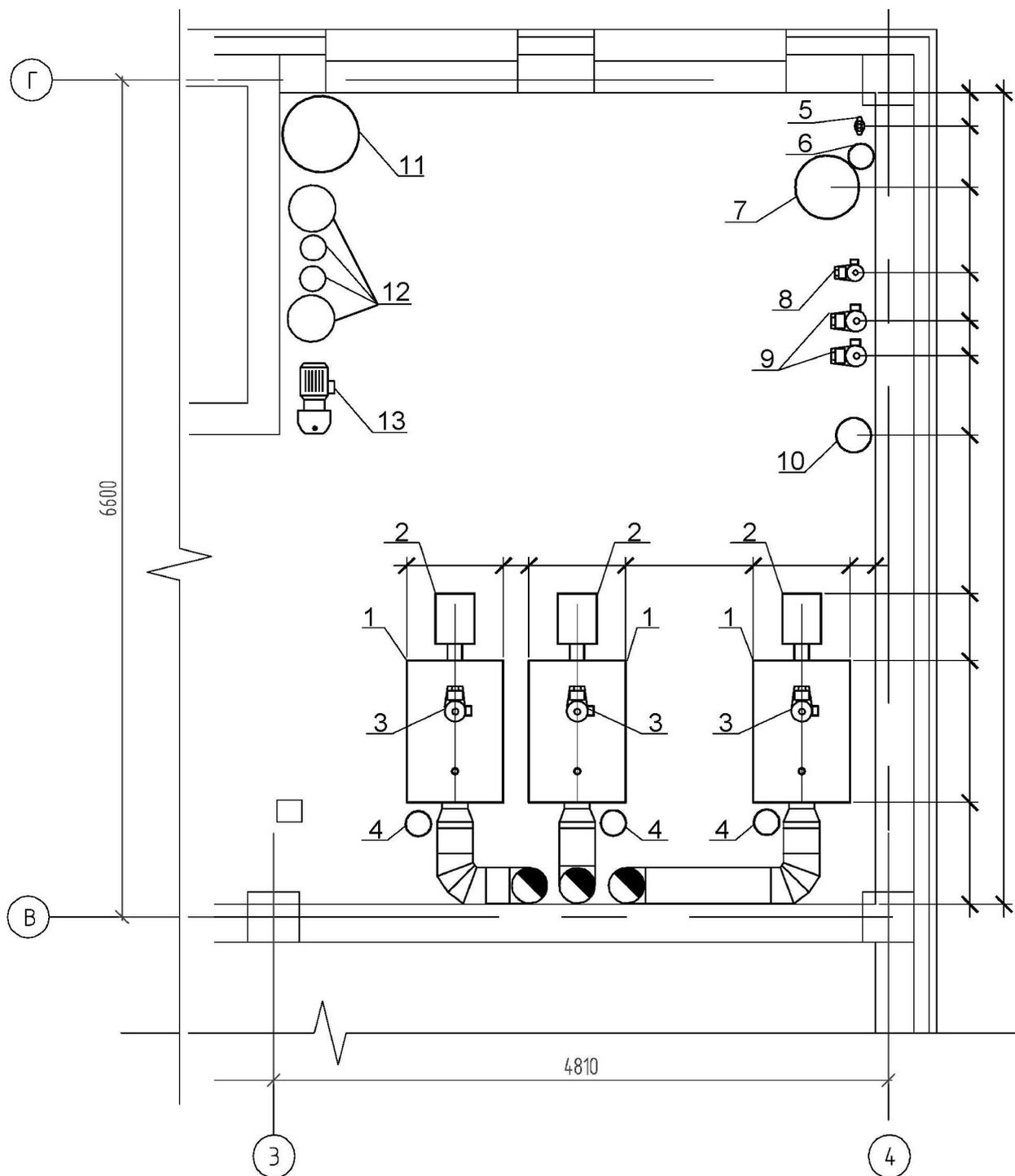


Рис. 5.1. Компоновочный чертеж крышной котельной:

- 1 – водогрейный котел; 2 – газовая горелка; 3 – циркуляционный насос котлового контура; 4 – расширительный бак котла; 5 – насос контура рециркуляции ГВС; 6 – расширительный бак системы ГВС; 7 – водонагреватель ГВС; 8 – циркуляционный насос контура ГВС; 9 – циркуляционный насос контура отопления; 10 – распределитель гидравлический; 11 – расширительный бак системы отопления; 12 – узел водоподготовки; 13 – автоматическая насосная станция

6. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ

Выполнить поверочный расчет дымовой трубы. Конфигурация газохода (рис. 6.1): от котла прямой участок с отводом 90°, далее прямой участок и вход в дымовую трубу. Длина участка L , м, высота трубы H , м. Материал трубы и газоходов – нержавеющая сталь. Диаметр дымовой трубы $d_{дт}$ равен диаметру газохода. Кпд котла $\eta_k=92\%$, коэффициент избытка воздуха $\alpha=1,15$, необходимое теоретическое количество воздуха для горения $V_g^0=11,22$ м³/кг, теоретический объем дымовых газов $V_2^0=12,74$ м³/м³, потеря температуры по трубе $\Delta t=0,1$ °С/м.

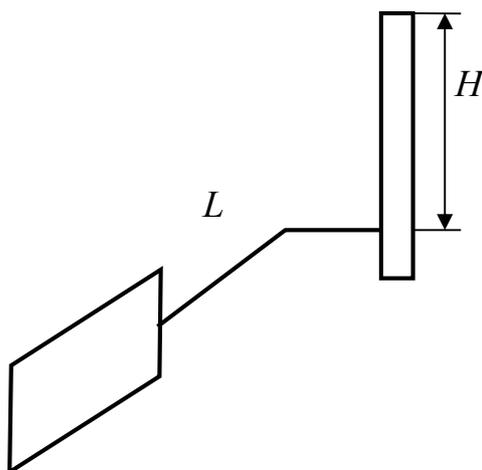


Рис. 6.1. Расчетная схема газового тракта

Теплотворную способность топлива Q_n^p , ккал/м³, тепловую нагрузку отопительного периода Q_3 и неотапительного Q_4 , температуры уходящих газов в отопительный и неотапительный периоды $t_{ухз}$, $t_{ухл}$, расчетные температуры отопительного и неотапительного периода $t_{рз}$, $t_{рл}$, длины L, H , принять по табл. 6.1.

Определяем плотности воздуха для расчетных температур отопительного и неотапительного периода:

$$\rho_{вз(вл)} = \frac{\rho_0 273}{(273 + t_{рз(рл)}), \text{ кг/м}^3, \quad (6.1)$$

где $\rho_0 = 1,293$ кг/м³ – плотность воздуха при 0 °С.

Определяем средние температуры дымовых газов в трубе для отопительного и неотапительного периода

$$t_{срз(срл)} = \frac{1}{2} \left[t_{ухз(ухл)} + (t_{ухз(ухл)} - (H + L) \Delta t) \right], \text{ °С.} \quad (6.2)$$

Таблица 6.1

Исходные данные для расчета дымовой трубы

№ Варианта	Q_n^p , ккал/м ³	Q_z , МВт	Q_l , МВт	$t_{ухз}$, °С	$t_{ухл}$, °С	L , м	H , м	t_{pz} , °С	t_{pl} , °С	$d_{от}$, м
1	7980	1	0,5	160	140	0,5	45	-47	26,7	0,290
2	7985	1,2	0,6	162	141	0,9	44	-46	26,4	0,320
3	7990	1,3	0,7	164	142	1,3	43	-18	26,1	0,350
4	7995	1,6	0,8	166	143	1,7	42	-19	25,8	0,380
5	8000	1,8	0,9	168	144	2,1	41	-20	25,5	0,400
6	8005	2	1	170	145	2,5	40	-21	25,2	0,420
7	8010	2,2	1,1	172	146	2,9	39	-22	24,9	0,440
8	8015	2,4	1,2	174	147	3,3	38	-23	24,6	0,465
9	8020	2,6	1,3	176	148	3,7	37	-24	24,3	0,485
10	8025	2,8	2	178	149	4,1	36	-25	24,0	0,500
11	8030	3	2,1	180	150	4,5	35	-26	23,7	0,510
12	8035	3,2	2,2	182	151	4,9	34	-27	23,4	0,530
13	8040	3,4	2,3	184	152	5,3	33	-28	23,1	0,560
14	8045	3,6	2,4	186	153	5,7	32	-29	22,8	0,570
15	8050	3,8	2,5	188	154	6,1	31	-30	22,5	0,600
16	8055	4	2,6	189	155	6,5	30	-31	22,2	0,600
17	8060	4,2	2,7	190	156	6,9	29	-16	21,9	0,620
18	8065	4,4	2,8	191	157	7,3	28	-15	21,6	0,650
19	8070	4,6	2,9	192	158	7,7	27	-34	21,3	0,630
20	8075	4,8	3	193	159	8,1	26	-35	21,0	0,650
21	8080	5	3,1	194	160	8,5	25	-36	20,7	0,670
22	8085	5,2	3,2	195	161	8,9	24	-37	20,4	0,700
23	8090	5,4	3,3	196	162	9,3	23	-38	20,1	0,700
24	8095	5,6	3,4	197	163	9,7	22	-39	19,8	0,720
25	8100	5,8	3,5	198	164	10,1	21	-40	19,5	0,760
26	8105	6	3,6	199	165	10,5	20	-41	19,2	0,770
27	8110	6,2	3,7	200	166	10,9	19	-42	18,9	0,780
28	8115	6,4	3,8	201	167	11,3	18	-43	18,6	0,790
29	8120	6,6	3,9	202	168	11,7	17	-44	18,3	0,800
30	8125	6,8	4	203	169	12,1	16	-45	18,0	0,820

Находим расход газа для отопительного и неотопительного периода

$$B_{з(л)} = \frac{Q_{з(л)} 86 \cdot 10^6}{Q_n^p \eta_k}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (6.3)$$

Определяем значения объемов дымовых газов для отопительного и неотопительного периода

$$V_{з(л)} = B_{з(л)} \frac{(V_z^0 + (\alpha - 1)V_g^0)(273 + t_{срз(срл)})}{273}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (6.4)$$

Определяем скорости дымовых газов в трубе в отопительном и неотопительном периоде

$$w_{з(л)} = \frac{V_{з(л)}}{d_{дт}^2 \cdot 0,785 \cdot 3600} = \frac{V_{з(л)}}{d_{дт}^2 \cdot 2826}, \text{ м/с.} \quad (6.5)$$

Скорости должны принадлежать допустимым диапазонам, указанным в нормативах [8].

Определяем плотности дымовых газов на выходе из трубы при средних температурах:

$$\rho_{з(зл)} = \frac{\rho_{з0} \cdot 273}{(273 + t_{срз(пл)}), \text{ кг/м}^3, \quad (6.6)$$

где $\rho_{з0} = 1,32 \text{ кг/м}^3$ – плотность дымовых газов при $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Определяем сопротивления по длине (трения) в газоходе и дымовой трубе для отопительного и неотопительного периода

$$h_{трз(трл)} = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho_{з(зл)} w_{з(л)}^2}{2}, \text{ Па,} \quad (6.7)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения, принимаемый для стальных воздухопроводов согласно [7]; l – суммарная длина прямолинейных участков воздуховода (см. рис. 6.1), м.

Находим динамическое давление газов для отопительного и неотопительного периода

$$h_{динз(динл)} = \frac{w_{з(л)}^2 \rho_{з(зл)}}{2}, \text{ Па.} \quad (6.8)$$

Согласно представленной схеме газового тракта, он состоит из следующих местных сопротивлений: отвод под углом 90° ; вход и выход из дымовой трубы. Для определения коэффициентов местных сопротивлений $\xi_{вх}$, $\xi_{вых}$, $\xi_{отв}$ используем «Аэродинамический расчет котельных установок. Нормативный метод» [7].

Находим потери на входе и выходе из дымовой трубы для отопительного и неотопительного периода

$$h_{з(л)}^{дт} = (\xi_{вх} + \xi_{вых}) h_{динз(динл)}, \text{ Па.} \quad (6.9)$$

Находим потери в отводе

$$h_{з(л)}^{отв} = \xi_{отв} h_{динз(динл)}, \text{ Па.}$$

Находим суммарные потери по длине и в местных сопротивлениях для отопительного и неотапительного периода

$$\Sigma h_{z(l)} = h_{mpz(mpl)} + h_{z(l)}^{ДТ} + h_{z(l)}^{отв}, \text{ Па.} \quad (6.10)$$

Находим значение самотяги трубы для отопительного и неотапительного периода

$$S_{mpz(mpl)} = H(\rho_{вз(вл)} - \rho_{вз(зл)})9,81, \text{ Па.} \quad (6.11)$$

Определяем превышение самотяги над суммарным сопротивлением газового тракта в процентах для двух периодов

$$\Delta_{z(l)} = \frac{S_{mpz(mpl)}}{\Sigma h_{z(l)}}. \quad (6.12)$$

Превышение должно составлять не менее 20% (коэффициент 1,2). Делаем вывод о высоте дымовой трубы.

Определяем перепад полных давлений

$$\Delta H_{nz(l)} = S_{mpz(mpl)} - \Sigma h_{z(l)}, \text{ Па.} \quad (6.13)$$

7. РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОТЫ АИТ

Определить себестоимость выработки тепловой энергии котельной. В котельной установлено два одинаковых водогрейных котла теплопроизводительностью Q_6 , МВт

Нагрузка горячего водоснабжения в отопительный период $Q_{263.ч}$, МВт, отопления и вентиляции $Q_{ов}^{max}$, МВт.

Расчетную температуру для проектирования отопления t_{po} , продолжительность отопительного периода n , сут, среднюю температуру отопительного периода $t_{ср.от}$ принять в соответствии с действующими рекомендациями [9] для города, указанного в таблице 1.1. Коэффициент расхода на собственные нужды принять $\eta_{сн}=0,99$. КПД котлов $\eta_6=0,91$. Установленная электрическая мощность котельной N ,кВт. Исходные данные представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1

Исходные данные для расчета себестоимости выработки теплоты

№ Варианта	$Q_{в}$, МВт	$Q_{звз.ч.}$, МВт	$Q_{ов}^{max}$, МВт	N , кВт	№ Варианта	$Q_{в}$, МВт	$Q_{звз.ч.}$, МВт	$Q_{ов}^{max}$, МВт	N , кВт
1	1	0,1	1,4	5	16	2,5	1	3,5	13
2	1,1	0,16	1,54	5,5	17	2,6	1,06	3,64	13
3	1,2	0,22	1,68	6	18	2,7	1,12	3,78	14
4	1,3	0,28	1,82	6,5	19	2,8	1,18	3,92	14
5	1,4	0,34	1,96	7	20	2,9	1,24	4,06	15
6	1,5	0,4	2,1	7,5	21	3	1,3	4,2	15
7	1,6	0,46	2,24	8	22	3,1	1,36	4,34	16
8	1,7	0,52	2,38	8,5	23	3,2	1,42	4,48	16
9	1,8	0,58	2,52	9	24	3,3	1,48	4,62	17
10	1,9	0,64	2,66	9,5	25	3,4	1,54	4,76	17
11	2	0,7	2,8	10	26	3,5	1,6	4,9	18
12	2,1	0,76	2,94	11	27	3,6	1,66	5,04	18
13	2,2	0,82	3,08	11	28	3,7	1,72	5,18	19
14	2,3	0,88	3,22	12	29	3,8	1,78	5,32	19
15	2,4	0,94	3,36	12	30	3,9	1,84	5,46	20

Определяем число часов использования нагрузки горячего водоснабжения:
в отопительный период

$$h_{зв.з} = n24, \text{ч}; \quad (7.1)$$

в неотопительный период

$$h_{зв.л} = 350 \cdot 24 - h_{зв.з}, \text{ч}. \quad (7.2)$$

Находим годовой отпуск теплоты на горячее водоснабжения

$$Q_{зв.год} = Q_{звз.ч.} (h_{зв.з} + 0,82h_{зв.л}) 3,6, \text{ ГДж/год}, \quad (7.3)$$

где 0,82 – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки горячего водоснабжения в неотопительный период.

Находим среднечасовой отпуск теплоты на отопление и вентиляцию

$$Q_{ов.ср} = Q_{ов}^{max} \frac{18 - t_{ср.от}}{18 - t_{по}} \text{ МВт}, \quad (7.4)$$

где 18 – средняя температура воздуха в отапливаемом здании, °С.

Находим годовой отпуск теплоты на отопление и вентиляцию, принимая $h_{ов}$ равным $h_{зв.з}$

$$Q_{ов.год} = 3,6h_{ов}Q_{ов.ср}, \text{ ГДж/год}. \quad (7.5)$$

Определяем общий годовой отпуск котельной

$$Q_{отп.год} = Q_{зв.год} + Q_{об.год}, \text{ ГДж/год.} \quad (7.6)$$

Находим годовую выработку котельной

$$Q_{выр.год} = \frac{Q_{отп.год}}{\eta_{сн}}, \text{ ГДж/год.} \quad (7.7)$$

Находим число часов использования установленной мощности котельной

$$h_{год} = \frac{Q_{выр.год}}{Q_{уст} \cdot 3,6}, \text{ ч/год,} \quad (7.8)$$

где $Q_{уст}$ - установленная мощность котельной.

Определяем расход топлива:

$$B_в = \frac{Q_{вк}}{Q_n^p \eta_{вк}} 3,6 \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{ч,} \quad (7.9)$$

где $Q_n^p = 33496 \text{ кДж/м}^3$ – теплотворная способность топлива-газа.

Определяем затраты на топливо по формуле [10]

$$\mathcal{E}_{топ} = 1,055 B_в h_{год} C_m, \text{ руб/год,} \quad (7.10)$$

где C_m - стоимость топлива, р/м³; 1,055 – коэффициент, учитывающий складские, транспортные и прочие потери.

Затраты на потребляемую электроэнергию определяем по формуле

$$\mathcal{E}_{эл.эн} = NK_{эл} h_{год} C_{эл}, \text{ руб/год,} \quad (7.11)$$

где $K_{эл}$ - коэффициент использования установленной электроэнергии: $K_{эл} = 0,7 - 0,8$ при $10 \leq N$ кВт; $C_{эл}$ - стоимость электроэнергии р/кВт·ч.

Определяем затраты на заработанную плату с начислением только эксплуатационному персоналу, участвующему в основной производственной деятельности котельной:

$$\mathcal{E}_{зар} = 12 K_{шт} Q_{уст} C_{зар}, \text{ руб/год,} \quad (7.12)$$

где $K_{шт}$ - штатный коэффициент, зависящий от теплопроизводительности, принимаемый согласно [10] чел/МВт; $C_{зар}$ - среднемесячная зарплата с начислением в фонд социального страхования одного работающего.

С учетом удельных капитальных затрат, $C_{кот}^{уд}$, млн.руб/МВт, определяем капитальные вложения в сооружение котельной

$$C_{кот} = C_{кот}^{уд} Q_{уст}, \text{млн.руб.} \quad (7.13)$$

С учетом удельных капитальных затрат на общестроительные работы, принимаемые для производственно-отопительной котельной $a=0,3$, находим сметную стоимость строительных работ

$$C_{стр} = aC_{кот}, \text{млн.руб.} \quad (7.14)$$

С учетом удельных капитальных затрат на оборудование и стоимость монтажа, принимаемые для производственно-отопительной котельной $b=0,52$, $c=0,18$, находим сметную стоимость оборудования и монтажа

$$C_{об} = (b + c)C_{кот}, \text{млн.руб.} \quad (7.15)$$

Затраты на амортизацию составят

$$\mathcal{E}_{амор} = \frac{1}{100} (P_1 C_{стр} + P_2 C_{об}), \text{млн.руб.} \quad (7.16)$$

где P_1 – средняя норма амортизации общестроительных работ и зданий, принимаемая для котельной 3-3,5%; P_2 – норма амортизации оборудования с монтажом, принимаемая для газовой котельной 7,5-8,5%.

В статью «Текущий ремонт» включают расходы на текущий ремонт основных фондов котельной (здание, оборудование, хозяйственный инвентарь, инструмент), сюда также относится основная и дополнительная заработанная плата с начислениями ремонтному персоналу, стоимость ремонтных материалов и использованных запчастей, стоимость услуг сторонних организаций и своих вспомогательных производств и др.

При расчетном методе принимаем затраты на текущий ремонт в размере 20-30% затрат на амортизацию:

$$\mathcal{E}_{тек.рем.} = (0,2 \div 0,3) \mathcal{E}_{амор}, \text{млн.руб.} \quad (7.17)$$

Статья общекотельные и прочие расходы включает в себя затраты на охрану труда, технику безопасности, пожарную и сторожевую охрану, административно-управленческий персонал, спецодежду, реактивы для химлаборатории и др. Принимаем данные затраты в размере 30% затрат на амортизацию, текущий ремонт и зарплату

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = 0,3(\mathcal{E}_{\text{амор}} + \mathcal{E}_{\text{тек.рем.}} + \mathcal{E}_{\text{зар}}), \text{млн.руб.} \quad (7.18)$$

Годовые эксплуатационные затраты по котельной определяем как сумму рассмотренных выше статей:

$$\Sigma \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{топ}} + \mathcal{E}_{\text{эл.эн}} + \mathcal{E}_{\text{зар}} + \mathcal{E}_{\text{амор}} + \mathcal{E}_{\text{тек.рем.}} + \mathcal{E}_{\text{общ}}, \text{млн.руб.} \quad (7.19)$$

Определяем себестоимость теплоты

$$C = \frac{4,187 \Sigma \mathcal{E}}{Q_{\text{выр.год}}}, \text{руб/Гкал.} \quad (7.20)$$

Необходимо проанализировать структуру затрат автономного источника теплоснабжения, выявить наименьшие и наибольшие составляющие. Рекомендуется также сравнить полученное значение себестоимости выработки теплоты с конкретными значениями для нескольких автономных котельных для соответствующих регионов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 373.1325800.2018. Источники теплоснабжения автономные. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ, 2018.
2. Теплоснабжение района города : учеб. пособие /А. К.Тихомиров. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2006. – 135 с.
3. СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. - М.: Стандартинформ, 2012.
4. СП 89.13330.2016. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76 Котельные установки. - М.: Стандартинформ, 2016.
5. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 № 531 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления».
6. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 № 536 "Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением».
7. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод). С.И. Мочан [и др.] Л.: Энергия, 1977. – 256с.
8. СП 346.1325800.2017. Системы газоздушных трактов котельных установок мощностью до 150 МВт. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ, 2018.
9. СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». – М.: Госстрой России, 2020.
10. Брюханов, О.Н. Газифицированные котельные агрегаты / О.Н. Брюханов, В.А. Кузнецов. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 392 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Расчет тепловых нагрузок	4
2. Расчет и построение графиков тепловых нагрузок и регулирования...	5
3. Выбор типа и числа водогрейных котлов.....	6
4. Расчет расходов воды и выбор насосов.....	10
5. Компоновка оборудования.....	12
6. Поверочный расчет дымовой трубы.....	14
7. Расчет себестоимости выработки теплоты АИТ.....	17
Библиографический список.....	22

АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических расчетов
для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство»
(программа магистерской подготовки «Теплогазоснабжение населенных
мест и предприятий» всех форм обучения

Составитель

Китаев Дмитрий Николаевич

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 06.02.2023.

Уч.-изд. л. 1,1.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84