

Приднестровский государственный университет
им. Т.Г. Шевченко
Бендерский политехнический филиал
Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции

Централизованное теплоснабжение
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Бендеры, 2018 г.

УДК 697.34
ББК 31.38
Ц 38

СОСТАВИТЕЛИ

С.С. Иванова, старший преподаватель
Е.В. Джевецкая, преподаватель

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Т.И. Лохвинская, старший преподаватель БПФ ГОУ ПГУ им. Т.Г. Шевченко
О.М.Ищенко, начальник внутридомовых инженерных сетей теплоснабжения
МГУП «Тирастеплоэнерго» г.Тирасполь

Ц 38 Централизованное теплоснабжение: Методические указания / Сост.
С.С. Иванова, Е.В. Джевецкая.- Бендеры, 2018.-41 с.

Методические указания «Централизованное теплоснабжение» предназначены для выполнения курсового и дипломного проектов по дисциплине «Централизованное теплоснабжение» и содержат рекомендации по выполнению расчетов, раскрывающие содержание курсового проекта и выпускной квалификационной работы.

В соответствии с учебными планами подготовки, разработанными на основе Федеральных государственных стандартов ВО нового поколения, рекомендуется в качестве методических указаний для студентов дневной и заочной форм обучения по направлению 08.03.01 «Строительство» профиль подготовки «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Рекомендовано НМС
ПГУ им. Т.Г. Шевченко

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
1. Определение расчетных значений тепловых потоков	8
1.1. Определение тепловых потоков по их нормативным удельным значениям	11
1.2. Определение тепловых потоков по удельным тепловым характеристикам зданий	12
2. График суммарного расчетного теплового потока жилого района	15
3. Годовой график продолжительности суммарного теплового потока и годовое потребление теплоты	17
4. Годовая потребность в топливе	21
5. Режимы регулирования тепловых потоков	22
5.1. Выбор режима регулирования	22
5.2. Опорный режим регулирования	24
5.3. Графики регулирования по отопительному тепловому потоку при параллельном подключении ВВП систем горячего водоснабжения	26
5.4. Графики регулирования тепловых потоков при двухступенчатом смешанном подключении ВВП систем горячего водоснабжения	32
5.5. Графики регулирования тепловых потоков при двухступенчатом последовательном подключении ВВП систем горячего водоснабжения	38
Литература	41

ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект централизованного теплоснабжения объекта строительства, которым может быть селитебный район города, жилой микрорайон или любая другая группа жилых и общественных зданий включает в себя разработку разнообразных технических и экономических вопросов, решение которых требует использования инженерных методов, соответствующих как специфике поставленной задачи, так и располагаемым исходным данным. Этим обусловлена необходимость подготовки по каждому характерному разделу своих методических указаний. Одним из таких разделов курсового проекта, потребовавшего подготовки методических указаний является раздел «Переменные тепловые режимы систем теплоснабжения». В этом важном разделе проекта рассчитываются значения тепловых потоков (нагрузок) отопления, вентиляции и бытового горячего водоснабжения, устанавливается годовая потребность в теплоте и топливе, обосновываются технические решения по схемам абонентских вводов и режимам регулирования тепловых потоков. Полученные в результате выполнения этого раздела проекта данные служат основой выполнения последующих его разделов, посвященных гидравлическому и тепловому расчетам тепловых сетей, технико-экономическому анализу проектных решений, вопросам экологии и охраны окружающей среды.

Ответственной задачей проекта является расчет значений тепловых потоков, которыми определяются в значительной мере все основные технико-экономические показатели сооружения и эксплуатации систем теплоснабжения.

Для экономного расходования на теплоснабжение гражданских зданий в настоящее время осуществляется комплекс мер, направленных на улучшение теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий и внедрение рациональных режимов теплопотребления.

I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ

Исходя из начальных условий проектирования систем теплоснабжения используются два метода определения расчетных значений тепловых потоков. В обоих случаях в основу расчетов кладутся нормативные значения удельных тепловых потоков отопления, вентиляции и бытового горячего водоснабжения, но в первом случае удельные тепловые потоки относятся к одному жителю, во втором – к единице строительного объема здания.

Первый метод расчета применяется при проектировании системы теплоснабжения обезличенной территории перспективной застройки населенного пункта, состоящего из отдельных жилых кварталов - микрорайонов (МКР). В этом случае расчеты опираются на усредненные значения «плотности» жилого фонда по территориям МКР и нормы общей площади на одного жителя.

Второй метод расчета применим тогда, когда на генплане территории застройки указаны отдельные здания конкретного функционального назначения и их строительные объемы.

При определении суммарного теплового потока населенного пункта обычно приходится использовать оба метода расчета.

Рассмотрим последовательность определения расчетных значений тепловых потоков в первом и во втором случаях.

1.1 Определение тепловых потоков по их нормативным удельным значениям

Удельный расчетный тепловой поток отопления жилых и общественных зданий.

$$Q_{0.1}^p = q f_{об} (1 + k_o) \quad (1.1)$$

где $Q_{0.1}^p$ - удельный расчетный тепловой поток отопления, Вт/житель;

q - нормативный расчетный тепловой поток отопления, отнесенный к 1 м^2 общей площади, $\text{Вт}/\text{м}^2$, принимается по таблице 1 (СниП ПМР 41-02-2003);

$f_{об}$ - общая площадь, отнесенная к одному жителю, устанавливается для различных районов строительства в пределах $15\text{-}23\text{ м}^2$. При отсутствии конкретных данных следует принимать $20\text{ м}^2/\text{житель}$;

k_o - коэффициент, учитывающий расход теплоты на отопление общественных зданий, принимается $0,25$.

Нормативный расчетный тепловой поток отопления жилых зданий постройки после 1985 года, отнесенный к 1 м² общей площади q , Вт/м².

Таблица 1

Этажность жилой застройки	$t_{н.о.}, ^\circ\text{C}$								
	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
1-2	152	159	166	173	177	180	187	194	200
3-4	80	86	91	97	101	103	109	116	123
5 и более	67	70	73	81	87	87	95	100	102

Примечание: Промежуточные значения q определяются линейной интерполяцией.

Удельный расчетный тепловой поток вентиляции общественных зданий.

$$Q_{в.л}^p = qf_{об} \cdot k_o \cdot k_v \quad (1.2)$$

где $Q_{в.л}^p$ – удельный расчетный тепловой поток вентиляции общественных зданий, Вт/житель;

k_v – доля вентиляционного теплового потока в тепловом потоке отопления общественных зданий, принимается 0,4.

Среднезимний удельный тепловой поток горячего водоснабжения.

$$Q_{г.л}^c = \frac{1,2}{z} (q_{u.c} + v) \rho c (t_{г}^c - t_{х}^3) \quad (1.3)$$

где $Q_{г.л}^c$ – среднезимний удельный тепловой поток горячего водоснабжения жилых и общественных зданий, Вт/житель;

1,2 – коэффициент, учитывающий тепловые потери в сетях горячего водоснабжения;

$q_{u.c}$ – норма потребления горячей воды с температурой 55⁰С в жилых зданиях, л/чел.сут., принимается по таблице 2 (СниП ПМР 41-02-2003);

v – условная норма потребления горячей воды общественными зданиями, отнесенная к одному жителю района застройки, принимается л/чел.сут, $v = 25$ л/чел.сут.;

ρ – плотность воды, принимается 1кг/л;

c – удельная теплоемкость воды, 4190Дж/кгК;

$t_{г}^c$ – средняя температура горячей воды у водоразборных приборов, 55⁰С;

$t_{х}^3$ – расчетная зимняя температура водопроводной воды, принимается 5⁰С;

z – время работы системы горячего водоснабжения в пределах одних суток, принимается обычно $24 \cdot 3600 = 86400$ с.

Нормы потребления горячей воды в жилых домах.

Таблица 2.

№ п/п	Потребители	$q_{и.с}$, л/чел.сут
1	Жилые дома квартирного типа, оборудованные: <ul style="list-style-type: none"> ➤ умывальниками, мойками, душами ➤ сидячими ваннами и душами ➤ ванными длиной 1500 мм и 1700 мм и душами 	85 90 105
2	Жилые дома квартирного типа при высоте более 12 этажей и повышенных требованиях к их благоустройству	115

Среднелетний удельный тепловой поток горячего водоснабжения.

$$Q_{Г.1}^{c.л} = \beta Q_{Г.1}^c \frac{t_G^c - t_x^n}{t_G^c - t_x^3}, \quad (1.4)$$

где $Q_{Г.1}^{c.л}$ - средний удельный тепловой поток горячего водоснабжения жилых и общественных зданий, Вт/житель;

β - коэффициент, учитывающий снижение теплового потока бытового водоснабжения в летний (межотопительный) период и принимается для жилищно-коммунального сектора 0,8; для курортных городов 1,5;

t_x^n - температура водопроводной воды в межотопительный период, принимается 15⁰С.

Максимальные тепловые потери горячего водоснабжения. Переход от средних значений тепловых потоков горячего водоснабжения к их максимальным значениям производится умножением первых на обобщенный нормативный коэффициент неравномерности потребления горячей воды, значением которого –2,4 (СниП ПМР 41-02-2003).

$$Q_{Г.1}^m = 2,4 Q_{Г.1}^c \quad (1.5)$$

$$Q_{Г.1}^{m.л} = 2,4 Q_{Г.1}^{c.л} \quad (1.6)$$

где $Q_{Г.1}^{m.л}$ и $Q_{Г.1}^{c.л}$ – максимальные (расчетные) тепловые потоки зимой и летом, Вт/житель.

Тепловые потоки отопления, вентиляции и горячего водоснабжения микрорайона, МВт.

$$\text{Отопления} - Q_O^P = U_{мкр} \cdot Q_{O,1}^P \cdot 10^{-6}; \quad (1.7)$$

$$\text{Вентиляция} - Q_B^P = U_{мкр} \cdot Q_{B,1}^P \cdot 10^{-6}; \quad (1.8)$$

Горячего

$$\text{водоснабжения} \quad Q_G^C = U_{мкр} \cdot Q_{Г.1}^C \cdot 10^{-6}; \quad (1.9)$$

Общий расчетный тепловой поток микрорайона при среднезимнем тепловом потоке горячего водоснабжения:

$$Q_O^P + Q_B^P + Q_G^C = Q^P, \text{ МВт} \quad (1.10)$$

В формулах (1.7)-(1.9) $U_{МКР}$ – число жителей в микрорайоне, определяемое по формуле

$$U_{МКР} = \frac{Ж \cdot S_{МКР}}{f}, \quad (1.11)$$

где $S_{МКР}$ – площадь территории МКР, м²;

$Ж$ – «плотность» жилого фонда на территории МКР в долях его площади, принимается по таблице 3;

f – норма жилой площади, м²/ житель: для России, Азербайджана, Грузии, Литвы и Эстонии -12, Узбекистана -10, Туркмении - 9, Украины - 13, м²/ житель.

«Плотность» жилого фонда на территории МКР, в долях его площади.

Таблица 3.

Этажность	2	3	4	5	6	9	12
«плотность», $Ж$	0,22	0,39	0,42	0,48	0,51	0,63	0,67

1.2 Определение тепловых потоков по удельным тепловым характеристикам зданий

Тепловой поток отопления.

$$Q^p_o = q_o \alpha V (t_g - t_{н.о}) \cdot 10^{-6} \quad (1.12)$$

где Q^p_o – расчетное значение отопительного теплового потока здания, МВт;

q_o – удельная отопительная характеристика здания, Вт/(м³*К), принимается по таблице 4;

α - поправочный коэффициент, учитывающий климатические условия района строительства, принимается равным:

при $t_{н.о} > -10^{\circ}\text{C}$, $\alpha = 1,2$

при $t_{н.о} = -20^{\circ}\text{C}$, $\alpha = 1,1$

при $t_{н.о} = -30^{\circ}\text{C}$, $\alpha = 1,0$

при $t_{н.о} < -40^{\circ}\text{C}$, $\alpha = 0,9$

(промежуточные значения коэффициентов определяются линейным интерполированием);

V - строительный объем здания по наружному обмеру, м³;

t_g - расчетное значение температуры воздуха в помещениях здания, ⁰С (см.табл.1-4);

$t_{н.о}$ – расчетные значения температуры наружного воздуха для проектирования отопления, ⁰С (СниП ПМР 41-02-2003).

Тепловой поток вентиляции.

$$Q^p_v = q_v V (t_g - t_{н.в}) \cdot 10^{-6} \quad (1.13)$$

где Q^p_v – расчетное значение вентиляционного теплового потока здания, МВт;

q_v – удельная тепловая вентиляционная характеристика здания, Вт/(м³*К), принимается по таблице 4;

$t_{н.в}$ - расчетное значение температуры наружного воздуха для проектирования вентиляции, °С (СниП ПМР 41-02-2003).

Тепловой поток горячего водоснабжения.

$$Q^c_r = q^c_r V \cdot 10^{-6} \quad (1.14)$$

где Q^c_r – среднесзимний тепловой поток горячего водоснабжения здания, МВт;

q^c_r - обобщенный удельный тепловой поток горячего водоснабжения, Вт/м³, в оценочных расчетах может приниматься равным: для вокзалов-3; административных, учебных, зрелищных зданий и клубов – 4; зданий медицинского и спортивного назначения – 5; жилых домов квартирного типа – 6; общежитий – 7; гостиниц – 8; зданий предприятий общественного питания – 10; банно-прачечных комбинатов – 200 Вт/м³.

1.3. Суммарный тепловой поток жилого района

Результаты расчетов тепловых потоков для каждого МКР (квартала) и каждого отдельно заданного теплового потребителя, определенные по приведенным в пп. 1.1 и 1.2 методикам сводятся в форму таблицы 5. Итоговые суммы по каждой строке и каждому столбцу таблицы дают численные значения тепловых потоков, являющиеся опорными для проекта теплоснабжения в целом. В конкретных видах проектных расчетов (тепловых, гидравлических, режимных и экономических) опорные значения тепловых потоков подвергаются своим уточнениям, учитывающим суточную и часовую неравномерность работы установок горячего водоснабжения и вентиляции, наличие аккумуляторов горячей оды, их объем, время зарядки, тепловые потери в сетях и другие особенности конкретных технических решений системы теплоснабжения.

Удельные показатели теплопотребления зданиями различного назначения.

Таблица 4.

Назначение здания	$t_{в}, ^\circ C$	$V, \text{ тыс. м}^3$	$q_0, \text{ Вт/ (м}^3 \cdot \text{К)}$	$q_в, \text{ Вт/ (м}^3 \cdot \text{К)}$
Жилые дома, общежития, гостиницы	18	До 5	0,45	-
		5-10	0,40	-
		10-20	0,38	-
		20-30	0,35	-
		более 30	0,32	-
Административные здания, вокзалы	16	5-10	0,43	0,21
		10-25	0,35	0,21
Универмаги	15	5-10	0,33	0,12
		10-15	0,31	0,12
Школы, вузы, техникумы	16	3-5	0,35	0,10
		5-10	0,33	0,10
		10-20	0,30	0,10
Больницы	20	10-15	0,32	0,35

		15-25	0,30	0,35
Театры, клубы, кино	16	5-10	0,27	0,48
		10-20	0,22	0,48
		20-50	0,20	0,48
Банно-прачечные комбинаты	27	5-10	0,30	0,80
Здания предприятий общественного питания, фабрики-кухни	16	3-5	0,40	0,70
		5-10	0,38	0,70

Форма таблицы расчетных значений тепловых потоков

№ МКР, квартала	Площадь МКР, $S_{мкр}$, $м^2$	Этажность зданий	Плотность жилого фонда, $Ж$	Жилая площадь, $м^2$	Кол-во жителей, $U_{мкр}$, чел.	Тепловые потоки, МВт				Примечание
						Q^p_o	Q^p_e	Q^c_z	Q^p	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.										См. ф-лы (1.7-1.11)
2.										
Итого по району города:										
19.	Здание А (наименование объекта)									См. ф-лы (1.12-1.14)
20.	Здание Б									
ИТОГО по отдельным объектам:										
В С Е Г О:						$\sum Q^p_o$	$\sum Q^p_e$	$\sum Q^c_z$	$\sum Q^p$	

2. ГРАФИК СУММАРНОГО РАСЧЕТНОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ЖИЛОГО РАЙОНА

График суммарного расчетного теплового потока показывает зависимость суммарного теплового потока от температуры наружного воздуха при максимальных значениях теплового потока горячего водоснабжения.

Построение графика необходимо для выбора тепловой мощности источника теплоты, планирования включения в работу его теплогенерирующего оборудования в соответствии с прогнозом температуры наружного воздуха на ближайшие сутки, вывода его в резерв или в ремонт.

Максимальное значение суммарный тепловой поток имеет зимой при $t_n = t_{н.о}$:

$$\sum Q^M = \sum Q^p_o + \sum Q^p_B + \sum Q^M_{Г}, \quad (2.1)$$

$$\text{где } \sum Q^M_{Г} = 2,4 \sum Q^c_{Г} \quad (2.2)$$

Значение максимального теплового потока для межотопительного периода определяется, исходя из (формулы 1.4) по формуле

$$\sum Q^{M.л}_{Г} = \sum Q^M_{Г} \cdot \beta \frac{t^c_{Г} - t^л_x}{t^c_{Г} - t^з_x}, \quad (2.3)$$

На рисунке 1 показано построение графика максимально- расчетного теплового потока на примере климатических условий г. Бендеры и конкретных значений тепловых потоков.

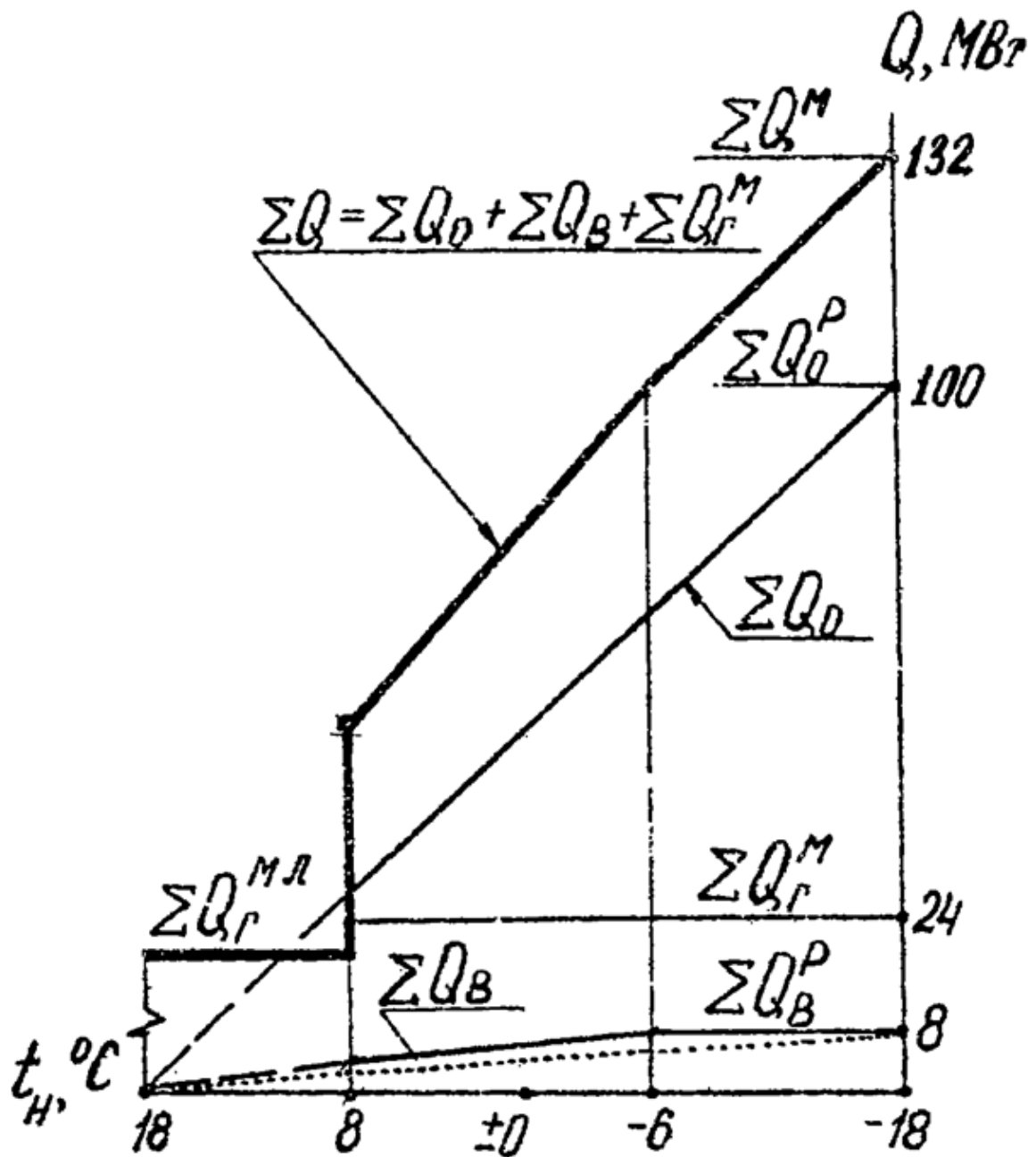


Рис. I Пример построения графика суммарного расчетного теплового потока для климатических условий г. Бендеры при $\Sigma Q_0^P = 100$, $\Sigma Q_B^P = 8$ и $\Sigma Q_r^M = 24$ MWt ($t_{н.0} = -18^\circ\text{C}$; $t_{нв} = -6^\circ\text{C}$)

3. ГОДОВОЙ ГРАФИК ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУММАРНОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА И ГОДОВОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ

График продолжительности суммарного теплового потока строится для установления экономичных режимов эксплуатации оборудования источников теплоты, времени их работы в течение года, показателей использования установленной мощности теплогенерирующих агрегатов и других важных технико-экономических показателей системы теплоснабжения.

График продолжительности суммарного теплового потока может быть использован также для определения графо-аналитическим способом годового теплотребления подключенными теплоиспользующими системами.

Основой графика является график продолжительности обобщенного теплового потока отопления и вентиляции - сезонной тепловой нагрузки $\sum Q_c$. С достаточной для технико-экономических и плановых расчетов точностью можно считать, что тепловой поток вентиляции, так же, как и отопления, является линейной гладкой функцией температуры наружного воздуха (см. пунктирную линию на рис. 2).

Исходными для проектирования графика, который тепловые потоки располагает последовательно - являются климатические показатели: продолжительность стояния в течение года определенной и более низкой температуры наружного воздуха, расчетная для проектирования отопления и средняя за отопительный период температуры наружного воздуха и продолжительность периода отопления.

При отсутствии данных о длительности стояния температур наружного воздуха график продолжительности сезонного теплового потока с достаточной для проектных разработок точностью может быть построен аналитическим способом проф. Б.Л.Шифринсона по уравнению

$$\varphi_c = 1 - A(\bar{Z})^\gamma \quad (3.1)$$

где φ_c - относительный тепловой поток тепловой нагрузки,

$$\sum Q_c / \sum Q_c^p \quad (3.2)$$

Z - относительное время в долях продолжительности отопительного периода, z_0 , при котором сезонный тепловой поток не бывает ниже φ_c ,

$$\bar{Z} = z / z_0 ;$$

A и γ - коэффициенты, являющиеся функциями температур воздуха:

$$A = \frac{8 - t_{н.о}}{18 - t_{н.о}}, \quad (3.2)$$

$$\gamma = \frac{8 - t_n^{c.o}}{t_n^{c.o} - t_{н.о}} \quad (3.3)$$

В формулах (3.2) и (3.3)

8 - директивная температура начала (конца) отопительного периода, $^{\circ}\text{C}$;

$t_n^{c.o}$ - средняя температура наружного воздуха за период отопления, $^{\circ}\text{C}$;

18 - средняя температура воздуха в отапливаемых помещениях гражданских зданий, $^{\circ}\text{C}$.

Последовательность построения графика продолжительности суммарного теплового потока методом Б.Л. Шифринсона и вычисление годового потребления селитебного массива населенного пункта показывается ниже на примере г. Бендеры при следующих исходных условиях:

климатические данные

$$t_{н.о} = -18^{\circ}C \quad t_{н.о}^{с.о} = +0,8^{\circ}C \quad z_o = 4032 \text{ ч.}; \quad \beta = 1,0 \text{ (условно)}$$

тепловые потоки

$$\sum Q_c^p = \sum Q_o^p + \sum Q_{\epsilon}^p = 100 + 8 = 108 \text{ МВт}$$

$$\sum Q_{\Gamma}^c = \sum Q_{\Gamma}^m / 2,4 = 24 / 2,4 = 10 \text{ МВт}$$

$$\sum Q_{\Gamma}^{с.л} = \sum Q_{\Gamma}^c \cdot \beta \frac{t_{\Gamma}^c - t_x^л}{t_{\Gamma}^c - t_x^з} = 10 \cdot 1 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} = 8 \text{ МВт}$$

Годовая продолжительность работы системы теплоснабжения 8400 ч.

1. На «миллиметровой» бумаге формата II (210 x 297 мм) строятся две системы координат (см. рис.2)

а) - графика сезонного теплового потока. На оси абсцисс этой системы откладываются температуры наружного воздуха, а на оси ординат - относительные значения сезонного теплового потока φ_c ;

б) - годового графика продолжительности сезонного теплового потока. Здесь ось абсцисс является осью часового годового времени, из которого выделяется участок отопительного периода z_o , со всей шкалой относительного времени z_o за единицу которого принята вся продолжительность периода отопления. На оси ординат откладываются значения тепловых потоков.

2. Строится график относительного теплового потока сезонной нагрузки $\varphi_c = F(t_{н.о})$.

3. Вычисляются значения коэффициентов уравнения Шифринсона по формулам (3.2) и (3.3)

$$A = \frac{8 - (-18)}{18 - (-18)} = 0,72 ; \quad \gamma = \frac{8 - 0,8}{0,8 - (-18)} = 0,38$$

4. Записывается уравнение Шифринсона для климатических условий г. Бендеры

$$\varphi_c = 1 - 0,72(z)^{0,38}$$

Рассчитываются относительные и абсолютные значения тепловых потоков и времени:

$$\sum Q_c = \varphi_c \sum Q_c^p = \varphi_c 108 \quad z = \bar{z} \cdot z_o = \bar{z} \cdot 4032.$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу 6.

Таблица построения годового графика продолжительности сезонного теплового потока климатических условий г. Бендеры.

Таблица 6.

\bar{z}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$z, \text{ч}$	0	403	806	1209	1612	2016	2419	2822	3225	3628	4032
φ_c	1,0	0,7	0,61	0,5	0,49	0,45	0,41	0,37	0,34	0,31	0,28
$\sum Q_c, \text{МВтм}$	108	75,6	65,8	58,8	53,1	48,2	44,0	40,0	36,6	33,3	30,2

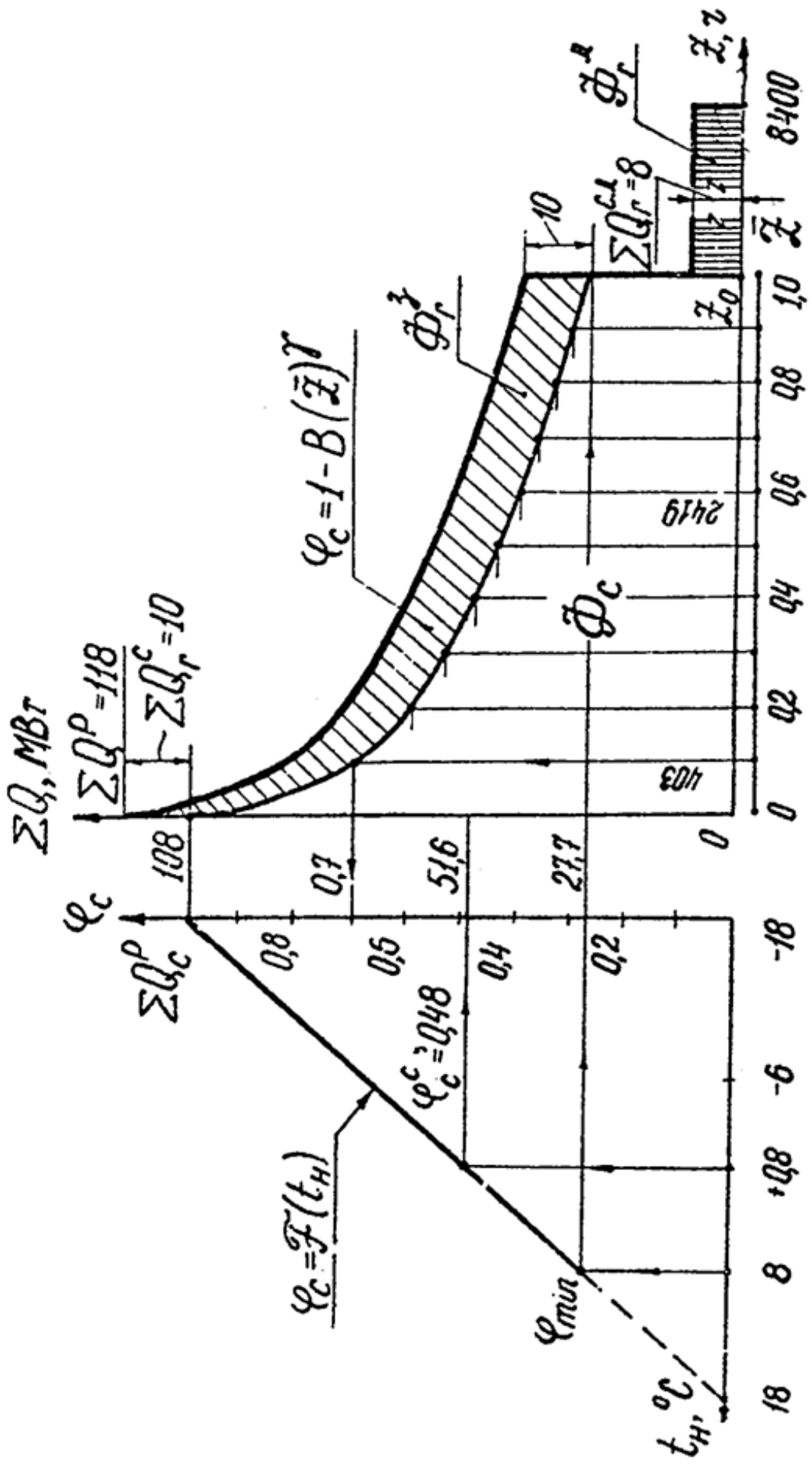


Рис. 2. Пример построения годового графика продолжительности суммарного теплового потока для климатических условий г. Бендеры

5. По табличным координатам (\bar{z}, φ_c) строится график продолжительности сезонных тепловых потоков.

6. График продолжительности сезонных тепловых потоков надстраивается значением среднезимнего теплового потока горячего водоснабжения

$$\sum Q_G^c = 10 \text{ МВт}$$

7. Построение графика продолжительности суммарного теплового потока завершается пристройкой к графику продолжительности сезонного теплового потока по оси z графика среднелетнего теплового потока горячего водоснабжения с ординатой $\sum Q_z^{c..l}$. Площади, ограниченные осями координат и линиями графиков продолжительности тепловых потоков пропорциональны потреблению теплоты системами отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

8. Вычисляется годовое потребление теплоты селитебным массивом района города

а) Системами отопления и вентиляции

$$\Phi_c = \varphi_c^c \sum Q_G^p z_o, \quad (3.4)$$

где Φ_c - годовое теплотребление системами отопления и вентиляции,

φ_c^c - средний за отопительный период относительный тепловой поток сезонной нагрузки, вычисляемый по формуле

$$\varphi_c^c = \frac{18 - t_n^{c.o}}{18 - t_{n.o}} \quad (3.5)$$

В рассматриваемом примере городов теплотребление системами отопления и вентиляции составит:

$$\Phi_c = \frac{18 - 0,8}{18 - (-18)} \cdot 108 \cdot 4032 = 20,8 \cdot 10^4 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$$

б) системами горячего водоснабжения в течение отопительного периода

$$\Phi_G^3 = \sum Q_G^c \cdot z_o \quad (3.6)$$

и в течении межотопительного периода

$$\Phi_G^l = \sum Q_G^{c..l} (8400 - z_o) \quad (3.7)$$

В рассматриваемом примере городов теплотребление системами горячего водоснабжения будет:

$$\Phi_G = \Phi_G^3 + \Phi_G^l = 10 \cdot 4032 + 8(8400 - 4032) = 7,5 \cdot 10^4 \text{ МВт}\cdot\text{ч};$$

в) полное годовое теплотребление селитебным массивом района города составляет сумму теплотребления системами отопления, вентиляции и горячего водоснабжения

$$\Phi = \Phi_c + \Phi_G \quad (3.8)$$

Для рассматриваемого примера имеем:

$$\Phi = (20,8 + 7,5) \cdot 10^4 = 28,3 \cdot 10^4 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$$

или $28,3 \cdot 10^4 \cdot 3,6 = 102 \cdot 10^4 \text{ ГДж}$

4. ГОДОВАЯ ПОТРЕБНОСТЬ В ТОПЛИВЕ

Для обеспечения теплоснабжения зданий, получающих теплоту от центрального источника (котельной, районной тепловой станции или теплоэлектроцентрали), в его котельных установках должно сжигаться топливо, годовой расход которого в условном исчислении определяется по формуле:

$$B = \frac{\Phi \cdot 10^9}{29,3 \cdot 10^6 \cdot \eta_{к.у} \cdot \eta_{т.с} \cdot 10^3} = \frac{\Phi}{29,3 \cdot \eta_{к.у} \cdot \eta_{т.с}} \quad (4.1)$$

где B - годовая потребность в топливе в условном исчислении, тонн;

Φ - полное годовое теплотребление, ГДж;

$29,3 \cdot 10^6$ - удельная теплота сгорания условного топлива, Дж/кг;

$\eta_{к.у}$ и $\eta_{т.с}$ - коэффициенты полезного действия теплогенерирующего оборудования источника теплоты и тепловых сетей, при ориентировочных расчетах их значения можно принимать по таблице.

Ориентировочные значения коэффициентов полезного действия теплогенерирующего оборудования источника теплоты и тепловых сетей.

Таблица 7.

ΣQ^p , МВт	<35	35-200	>200
$\eta_{к.у}$	$\frac{0,80}{0,75}$	$\frac{0,85}{0,78}$	$\frac{0,90}{0,80}$
$\eta_{т.с}$	0,98	0,95	0,92

Примечание. Через дробную черту указаны значения для котельных установок, работающих на газообразном и жидком топливе (знаменатель).

Для условий рассматриваемого примера годовой расход твердого топлива в условном исчислении составит по формуле (4.1):

$$B = \frac{102 \cdot 10^4}{29,3 \cdot 0,78 \cdot 0,95} = 47 \cdot 10^3 \text{ тонн}$$

При этом удельный расход условного топлива на 1 ГДж полезно потребленной теплоты будет составлять

$$\delta = \frac{B}{\Phi} = \frac{47 \cdot 10^3}{102 \cdot 10^4} \cdot 10^3 = 46 \text{ кг/ГДж}$$

5. РЕЖИМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ

5.1. Выбор режима регулирования

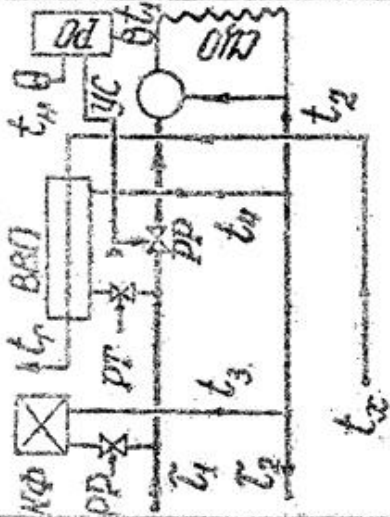
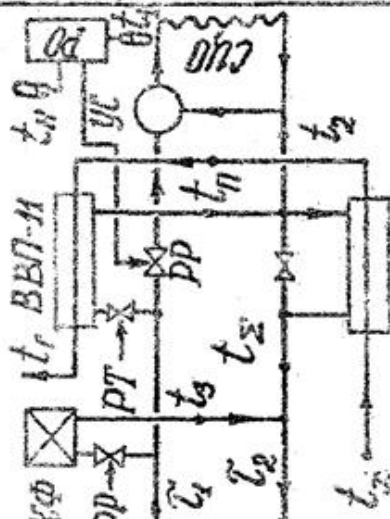
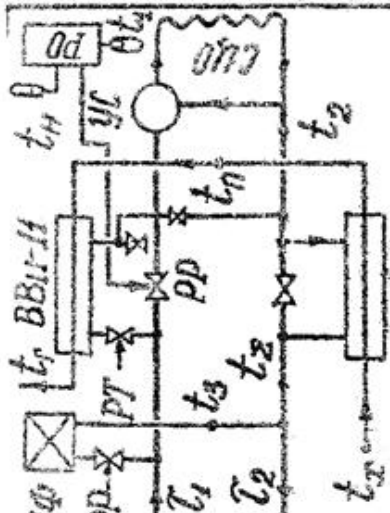
Регулирование отпуска теплоты разнородным потребителям от двухтрубных тепловых сетей при всех режимах основывается на необходимости обеспечения, в первую очередь, нормальной работы отопительных систем, поскольку они требуют не только высококачественного регулирования, но и тепловая мощность их для большинства регионов является доминирующей. Выбор системы (графиков) регулирования для разрабатываемой в курсовом проекте системы теплоснабжения производится согласно рекомендаций табл. 8, в основе которых лежат технико-экономические критерии металлоемкости системы теплоснабжения, расхода электроэнергии на перекачку сетевой воды и практика реального проектирования систем центрального теплоснабжения.

ВАРИАНТ I. Параллельная схема присоединения ВВП горячего водоснабжения обуславливает применение центрального регулирования температуры сетевой воды по отопительному графику, что обеспечивает независимость работы систем отопления от переменного режима систем горячего водоснабжения, а также минимум площади поверхности нагрева ВВП.

ВАРИАНТ II. Двухступенчатая схема подключения ВВП горячего водоснабжения при центральном регулировании по отопительному графику позволяет уменьшить в сравнении с вариантом I диаметры труб тепловых сетей, при сохранении независимости систем отопления от переменного режима системы горячего водоснабжения, хотя требует увеличения площади поверхности нагрева ВВП в 1,5 -1,8 раза.

Таблица 8

Выбор системы регулирования тепловых потоков

Вариант	I	II	III
$\Sigma Q_p, \text{ МВт}$	≤ 35	$35 \leq 200$	> 200
Теплоисточник	К	РТС	ТЭЦ
Регулирование	по отопительному теплому потоку		
Принципиальная схема включения ВВП горячего водоснабжения	 <p>Параллельная</p>	 <p>Смешанная</p>	 <p>Последовательная</p>

Условные обозначения. К - котельная; РТС - районная тепловая станция; ТЭЦ - теплоэлектростанция; КФ - котельная; ВВП - водо-водяной подогреватель (ступени I и II); УС - узел смешения; СЮ - система центр. отопления; РТ - регулятор температуры; ВВП - регулятор расхода; РО - регулятор отопления

ВАРИАНТ III. Двухступенчатая последовательная схема подключения ВВП горячего водоснабжения обуславливает применение центрального регулирования по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (связанное регулирование) и повышенного температурного графика для сетевой воды. Этим достигается предельное уменьшение диаметра труб тепловых сетей, площади поверхности нагрева калориферов систем вентиляции и ВВП систем горячего водоснабжения (для последних она незначительно отличается по сравнению с вариантом I). Вместе с тем здесь работа системы отопления зависит от режима работы системы горячего водоснабжения. Поэтому возможность применения связанного регулирования ограничивается крупными массивами застройки однотипными зданиями, для которых отношения расчетных значений тепловых потоков отопления и горячего водоснабжения близки друг к другу.

5.2. Опорный режим регулирования

В основе построения графиков регулирования отпусков теплоты жилой застройки лежит разработка режима регулирования отопительного теплового потока (систем отопления), являющегося опорным для всех систем регулирования разнородной тепловой нагрузки. Расчет режимов регулирования отопительного теплового потока базируется на уравнениях теплового баланса в условиях стационарного теплопереноса от внутреннего воздуха помещения через ограждающие конструкции к наружному воздуху, от отопительного прибора к внутреннему воздуху помещений и от теплоносителя (сетевой воды) к отопительному прибору. Совместным решением этих уравнений определяются текущие значения температуры сетевой воды в подающем трубопроводе тепловой сети перед узлом смешения отопительного ввода и на выходе из системы отопления:

$$\tau_1 = t_B + \varphi_0^{\frac{1}{1+m}} \cdot \theta^P + (0,5 + U) \cdot \frac{\varphi_0}{M} \cdot \Delta t^P \quad (5.1)$$

$$t_2 = t_B + \varphi_0^{\frac{1}{1+m}} \cdot \theta^P - 0,5 \frac{\varphi_0}{M} \cdot \Delta t^P \quad (5.2)$$

где τ_1 - текущее значение температуры сетевой воды перед узлом смешения, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 - текущее значение температуры сетевой воды после отопительной системы, $^{\circ}\text{C}$;

t_B - расчетное значение температуры воздуха в отапливаемом помещении, $^{\circ}\text{C}$;

φ_0 - текущее значение относительного теплового потока отопления;

θ^P - расчетное значение среднего температурного напора через стенку нагревательного прибора $^{\circ}\text{C}$.

Δt^P - расчетное значение перепада температур теплоносителя в отопительной системе, $^{\circ}\text{C}$;

U - расчетное значение коэффициента смешения отопительного ввода;

M - значение отопительного расхода сетевой воды через отопительную систему;

m - значение постоянного коэффициента, зависящее от типа нагревательного прибора.

В свою очередь:

$$\varphi_0 = \frac{Q_0}{Q_0^P} = \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{H.O}} \quad (5.3)$$

где Q_0 и Q_0^P - текущее и расчетное значение отопительного теплового потока, МВт;

t_B и $t_{H.O}$ - то же для температур наружного воздуха, °С.

$$\theta_p = 0,5(t_1^P - t_2^P) - t_B \quad (5.4)$$

где t_1^P - текущее значение температуры сетевой воды перед узлом смешения, °С.

$$U = \frac{\tau_1^P - t_1^P}{t_1^P - t_2^P} ; \quad (5.5) \quad M = \frac{G_0}{G_0^P} ; \quad (5.6)$$

где G_0 и G_0^P - текущее и расчетное значение расхода сетевой воды на отопление, кг/с.

В практике проектирования систем централизованного теплоснабжения принимают в качестве типовых следующие значения входящих в уравнения (5.1) и (5.2) исходные величины:

$M=1$ (качественное регулирование отопительного теплового потока); $t_B=18$ °С;
 $\Delta t^P = t_1^P - t_2^P = 95-70 = 25$ °С; $\tau_1^P = 150$ °С; $\theta^P = 0,5(95+70)-18 = 64,5$ °С; $U=2,2$;
 $m = 0,32$.

При типовых значениях исходных величин уравнения (5.1), (5.2) и (5.3) приобретают вид

$$\tau_1 = 18 + 64,5\varphi_0^{0,76} + 67,5\varphi_0 \quad (5.7)$$

$$t_2 = 18 + 64,5\varphi_0^{0,76} - 12,5\varphi_0 \quad (5.8)$$

$$t_H = 18 - \varphi_0(18 - t_{H.O}) \quad (5.9)$$

Опорный режим регулирования системы централизованного теплоснабжения - режим отопления - строится на «миллиметровой» бумаге в виде графика температур сетевой воды по формулам (5.7) и (5.8) для ряда значений φ_0 в пределах изменения этой величины от 1 до 0 (см. рисунок 3). Расчеты удобно вести в форме таблицы 9

Параметры опорного режима регулирования.

Таблица 9

φ_0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$t_H, \text{°C}$	18										$t_{H.O}$
$\tau_1, \text{°C}$	18										τ_1^P
$t_2, \text{°C}$	18										t_2^P

5.3 Графики регулирования по отопительному тепловому потоку при параллельном подключении ВВП систем горячего водоснабжения

Регулирование отопительного теплового потока. Корректировка опорного графика. Рассчитанный по форме таблицы 9 опорный график температур сетевой воды должен быть скорректирован с учётом обязательств:

I. Отопительный период начинается (оканчивается) при среднесуточной температуре наружного воздуха ниже (выше) 8°C .

II. Нормативное значение температуры водопроводной воды после её нагрева в ВВП потребителей $60-65^{\circ}\text{C}$, поэтому температура греющей сетевой воды в подающем трубопроводе тепловой сети не должна опускаться ниже 70°C .

Корректировка опорного графика по первому требованию проста: часть графика, лежащая в диапазоне температур наружного воздуха выше 8°C , становится мнимой и изображается пунктирными линиями. Относительный расход теплоты на отопление при $t_n^{н.о} = 8^{\circ}\text{C}$ является минимальным и значение его определяется по формуле

$$\varphi_o^{н.о} = \frac{t_B - t_n^{н.о}}{t_B - t_{н.о}} = \frac{10}{18 - t_{н.о}} \quad (5.10)$$

Корректировка по второму требованию приводит к «излому» опорного графика по точке $\tau_1 = \tau_{1,u} = 70^{\circ}\text{C}$. Опуская из этой точки перпендикуляр на ось абсцисс графически определяются соответствующие значения температур сетевой воды в обратном трубопроводе отопительных систем $t_{2,u}$ и наружного воздуха $t_{н,u}$.

Относительный расход теплоты на отопление при $t_{н,u}$ имеет значение

$$\varphi_o^n = \frac{t_B - t_{н,u}}{t_B - t_{н.о}} \quad (5.11)$$

Для избежание перетоков на диапазоне температур $t_{н,u} \geq 8^{\circ}\text{C}$, когда $\tau_{1,u} = 70^{\circ}\text{C}$ поддерживается на постоянном уровне, превышающем требования режима нормального отопления, системы отопления должны переводиться на местное количественное регулирование при помощи средств автоматики. Заметим, что для географических районов и сетей с достаточно высоким значением $t_{н.о}$ и τ_1^p точка излома графика может оказаться в зоне наружных температур, превышающих 8°C , что исключает необходимость корректировки опорного графика по второму требованию.

Для построения графика расходов сетевой воды на отопление $G_o = F(t_n)$ определяется расчетное значение расходов воды теплоносителя по уравнению

$$G_o^p = \frac{Q_o^p \cdot 10^6}{c(\tau_1^p - t_2^p)} \quad (5.12)$$

где G_o^p - расчетный расход сетевой воды на отопление, кг/;

c - удельная теплоемкость воды $4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$.

Это значение расхода сетевой воды на нужды отопления в режиме качественного регулирования – на диапазоне наружных температур воздуха

$t_{н,u} \div t_{н.о}$ – остается постоянным: $G_o = G_o^p = \text{const}$.

На диапазоне количественного регулирования, т.е. в интервале температур наружного воздуха $t_{н.и} \div 8^{\circ}\text{C}$, значение расхода теплоносителя определяется по выражению

$$G_0 = G_o^P \frac{t_B - t_n}{t_B - t_{н.и}} \quad (5.13)$$

Поскольку $G_0 = F(t_n)$ определяется здесь как линейная зависимость, то по формуле (5.13) достаточно вычислить лишь значение расхода воды при $t_n = t_o^{н.о} = 8^{\circ}\text{C}$. Прямая линия, соединяющая значения ординат расходов сетевой воды при $t_{н.и}$ и $t_n = t_o^{н.о} = 8^{\circ}\text{C}$ и будет являться графиком расхода сетевой воды отопительными системами зданий в этом диапазоне наружных температур.

Регулирование теплого потока вентиляции. «Излом» графика температуры сетевой воды в подающем теплопроводе при температуре наружного воздуха $t_{н.и}$ и «излом» графика теплового потока вентиляции при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования вентиляции $t_{н.в}$ обуславливают наличие в режиме регулирования вентиляционного теплового потока трех диапазонов:

I диапазон – ($8^{\circ}\text{C} \div t_{н.и}$);

II диапазон – ($t_{н.и} \div t_{н.в}$);

III диапазон – ($t_{н.в} \div t_{н.о}$).

В диапазоне II требуемые температуры сетевой воды для системы отопления и вентиляции достаточно близко совпадают. Поэтому здесь специального регулирования кроме центрального качественного не требуется: график температур сетевой воды от калориферов $t_3 = f(t_n)$ совпадает с графиком температур сетевой воды из системы отопления $t_2 = f(t_n)$.

В диапазонах режимов регулирования I и III следует применять наиболее экономичное регулирование вентиляционных установок путем изменения расхода теплоносителя через калориферы. При этом на диапазоне I температура сетевой воды на выходе из калориферов может быть приблизительно вычислена по выражению

$$t_3 = t_{2.и} - \left[0,8(t_B - t_{н.о}) - 0,6\tau_1^P + 70,4 \right] \sqrt{\frac{\varphi_o^u - \varphi_o}{\varphi_o^u - \varphi_o^{н.о}}} \quad (5.14)$$

а на диапазоне III- по выражению

$$t_3 = t_3^P - \left[0,17(t_B - t_{н.о}) + 0,7\tau_1^P - 84 \right] \sqrt{\frac{\varphi_o - \varphi_o^{B.P}}{1 - \varphi_o^{B.P}}}, \quad (5.15)$$

где $\varphi_o^{B.P}$ - относительный расход теплоты на отопление при температуре $t_{н.в}$, вычисляемый по формуле

$$\varphi_o^{B.P} = \frac{t_B - t_{н.в}}{t_B - t_{н.о}}, \quad (5.16)$$

а относительные расходы теплоты φ_o , $\varphi_o^{н.о}$ и φ_o^u - по формулам (5.3), (5.10) и (5.11).

Расход сетевой воды через калориферы на диапазоне II остается постоянным и определяется по выражению

$$G_B = G_B^P = \frac{Q_B^P \cdot 10^6}{c(\tau_{1.B}^P - t_3^P)}, \quad (5.17)$$

где $\tau_{1.B}^P$ и t_3^P - температуры сетевой воды в подающем трубопроводе тепловой сети и в обратном трубопроводе системы отопления при температуре наружного воздуха $t_{н.в}$, являющиеся расчетными для проектирования калориферных установок вентиляции.

Расходы сетевой воды через калориферы на диапазонах регулирования I и III соответственно вычисляются по формулам

$$G_B = G_B^P \frac{t_B - t_n}{t_B - t_{н.в}} \cdot \frac{\tau_{1.B}^P - t_3^P}{\tau_1 - t_3}, \quad (5.18)$$

$$G_B = G_B^P \frac{\tau_{1.B}^P - t_3^P}{\tau_1 - t_3}, \quad (5.18, a)$$

где τ_1 и t_3 - температуры сетевой воды в подающем трубопроводе тепловой сети и в обратном трубопроводе калориферных установок при одной и той же температуре наружного воздуха.

На диапазонах I и III графики $t_3 = f(t_n)$ и $G_B = F(t_n)$ строятся по трем точкам, искомые ординаты двух из которых должны быть вычислены, а ордината третьей точки уже задана графиками диапазона II.

Регулирование теплового потока горячего водоснабжения. На всем диапазоне температур наружного воздуха $t_n \geq t_{н.и}$ температура сетевой воды в подающем трубопроводе тепловой сети и в обратном трубопроводе от ВВП горячего водоснабжения должны поддерживаться при помощи автоматических регуляторов на расчетном уровне: $\tau_{1.и} = 70^\circ\text{C}$; $t_4^P = 30^\circ\text{C}$.

На диапазоне температур наружного воздуха от $t_{н.и}$ до $t_{н.о}$ при расчетных значениях $t_r = 60^\circ\text{C}$ и $t_x^3 = 5^\circ\text{C}$ температура обратной воды от ВВП может быть определена по приближенной формуле

$$t_4 = 30 - 2,18\sqrt{\tau_1 - 70}, \quad (5.19)$$

Расход сетевой воды на горячее водоснабжение на диапазоне температур наружного воздуха $t_n \geq 8^\circ\text{C}$, т.е. в межотопительном сезоне, находится по уравнению

$$G_c^{c.л} = \frac{\beta Q_G^c \cdot 10^6}{c(\tau_{1.и} - t_4^P)} \cdot \frac{t_G^{cp} - t_x^л}{t_G^{cp} - t_x^3}, \quad (5.20)$$

где β - коэффициент, учитывающий снижение потребления горячей воды летом. Его значение принимается для жилищно-коммунального сектора 0,8, для курортных городов 1,5;

t_G^{cp} - средняя температура воды в системе горячего водоснабжения, 55°C ;

$t_x^л$ и t_x^3 - расчетные температуры холодной водопроводной воды в межотопительном и отопительном сезонах. При отсутствии конкретных данных их можно принимать соответственно равными 15°C и 5°C .

Расход сетевой воды на нужды горячего водоснабжения на диапазоне

$8^{\circ}\text{C} \div t_{н.и}$ рассчитывается по формуле

$$G_{Г} = G_{Г}^P = \frac{Q_{Г}^c \cdot 10^6}{c(\tau_{1.и} - t_n^P)} \quad , \quad (5.21)$$

а на диапазоне $t_{н.и} \div t_{н.о}$ - по формуле

$$G_{Г} = \frac{Q_{Г}^c \cdot 10^6}{c(\tau_1 - t_4)} \quad , \quad (5.22)$$

Суммарный расход сетевой воды. Расход теплоносителя – сетевой воды – на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения являются функциями относительного расхода теплоты на отопление, поэтому и суммарный расход сетевой воды является своей функцией этого же аргумента

$$G_{\Sigma} = G_o + G_в + G_{Г} \quad (5.23)$$

При построении графика $G = \varphi(\varphi_o)$ суммарный расход сетевой воды удобно определять графическим сложением ординат расходов G_o , $G_в$ и $G_{Г}$ при определенных значениях φ_o .

Температура теплоносителя в обратном трубопроводе тепловой сети определяется по формуле смеси Кирхгофа

$$\tau_2 = \frac{G_o t_2 + G_в t_3 + G_{Г} t_4}{G_o + G_в + G_{Г}} \quad (5.24)$$

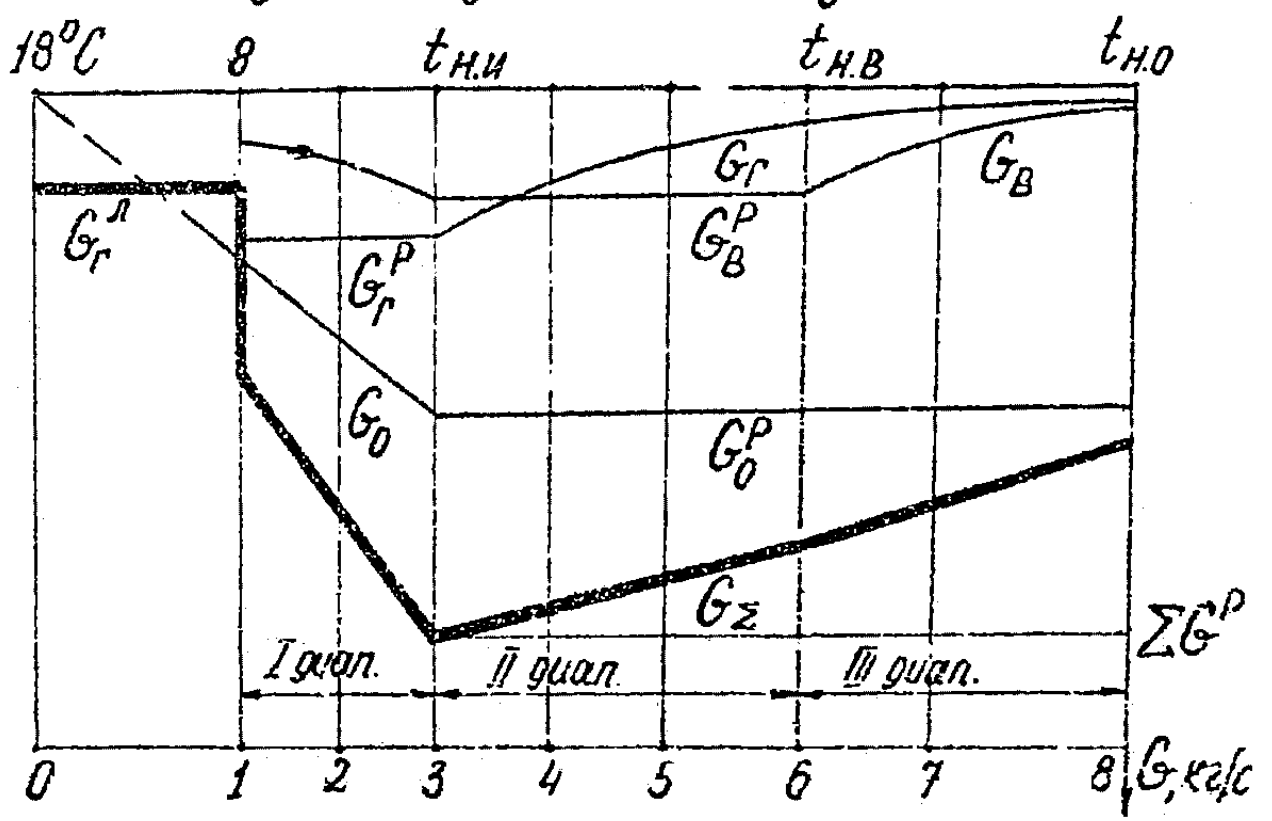
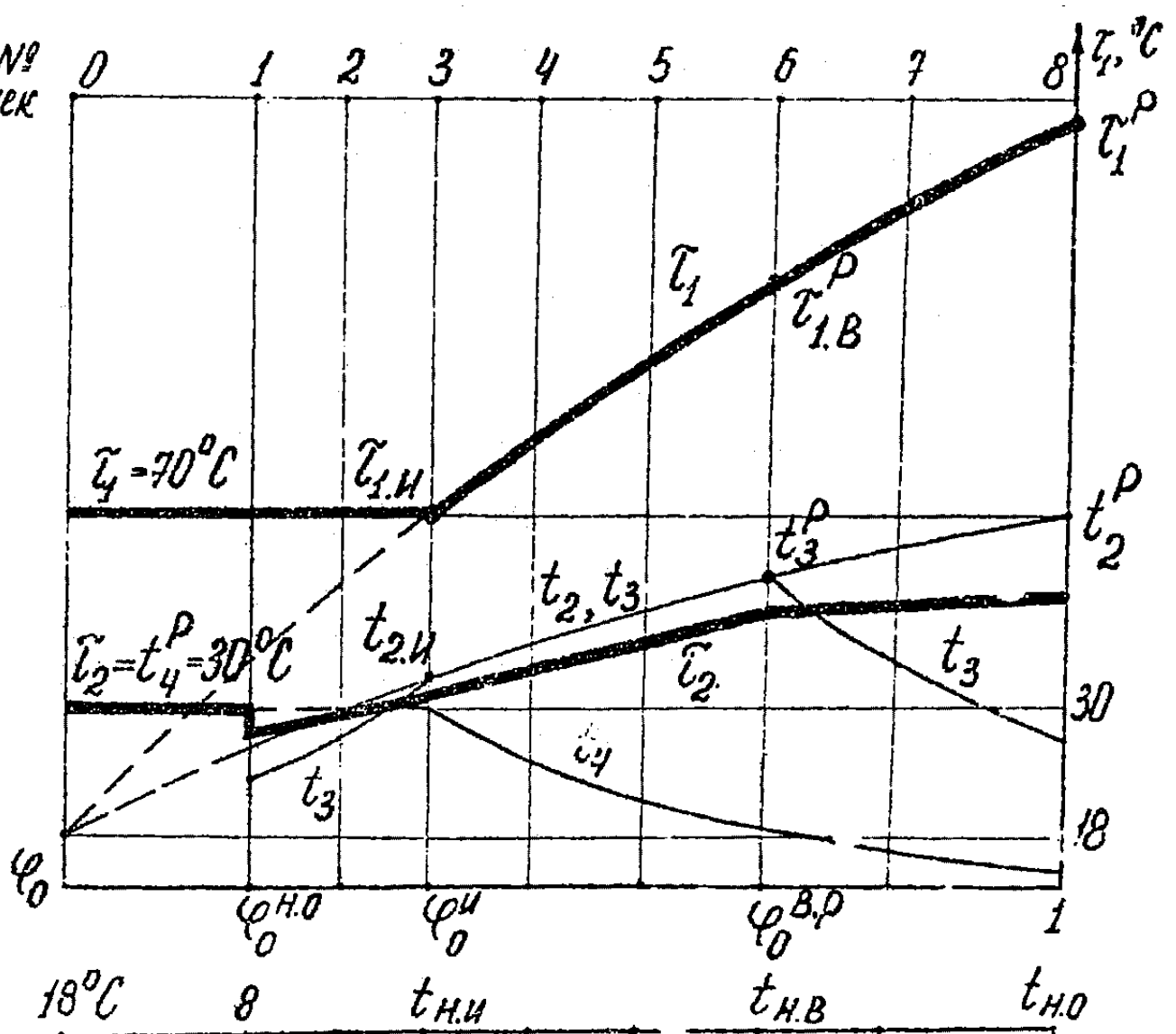
Порядок построения графиков регулирования.

1) Строятся на «миллиметровой» бумаге формата П (210 x 297) в зеркальном отображении две системы прямоугольных координат. На осях абсцисс этих системе откладываются значения коэффициентов расхода теплоты и соответствующие им значения температуры наружного воздуха, а по осям ординат- значения температуры и расхода теплоносителя. Точке пересечения осей координат прямой (верхней) координатной системы соответствующие значения $\varphi_o=1$ и $\tau = 0$; обратной (нижней)- $t_n = t_{н.о}$ и $G = 0$ (см. рис.3).

2) Производятся расчеты по формулам (5.7), (5.8), (5.9) значений τ_1 , t_2 , t_n , заполнение таблицы 5.2 и построения по её данным на верхнем координатном поле опорного графика.

3) Заполняется таблица 5.3. По данным таблицы производится корректировка опорного графика, построение на том же (верхнем) поле графиков температур теплоносителя после калориферов на диапазонах I и II и ВВП и графика температуры смешанной сетевой воды, покидающей абонентский ввод. На нижнем координатном поле (G , t_n) строятся графики расходов теплоносителя на нужды отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и суммарного расхода сетевой воды.

№№№
ТОЧЕК



Параметры режимов центрального регулирования по отопительному
тепловому потоку при параллельном подключении ВВП

Таблица 10

№№ строк	Расчетные параметры	Значения расчетных параметров в характерных точках осей абсцисс									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	φ_o	0	$\varphi_o^{H.O}$ (5.10)	*	φ_o^H (5.7)	*	*	$\varphi_o^{B.P}$ (5.16)	*	10	
2	$t_H, ^\circ\text{C}$	18	8							$t_{H.O}$	
3	$\tau_l, ^\circ\text{C}$	70									τ_1^P
		18	(5.1) или (5.7)								
4	$t_2, ^\circ\text{C}$	18	(5.2) или (5.8)							t_2^P	
5.	$t_3, ^\circ\text{C}$	-	(5.14)	ТО ЖЕ				(5.15)			
6.	$t_4, ^\circ\text{C}$	$t_4^P = 30^\circ\text{C}$				(5.19)					
7	$G_o, \text{кг/с}$	-	(5.13)	(5.12)							
8.	$G_B, \text{кг/с}$	-	(5.18)	(5.17)				(5.18a)			
9.	$G_G, \text{кг/с}$	(5.20)		(5.21)		(5.22)					
		(5.20)		(5.23)							
	$\tau_2, ^\circ\text{C}$	$t_4^P = 30^\circ$		(5.24)							

* - промежуточное значение, назначаемое проектантом.

5.3. Графики регулирования тепловых потоков при двухступенчатом смешанном подключении ВВП систем горячего водоснабжения

Подключение подогревателей системе горячего водоснабжения по смешанной схеме позволяет осуществлять центральное регулирование отпуска теплоты как по отопительному тепловому потоку, так и по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (при «лимитировании» расхода теплоносителя). Наибольшее распространение имеет режим регулирования по отопительному тепловому потоку, при котором обеспечивается независимость работы систем отопления от режима горячего водопотребления.

Регулирование теплового потока отопления. За основу построения графика регулирования отопительной нагрузки принимается рассмотренный ранее опорный режим регулирования п.2. В дополнение к полученным значениям τ_1 и t_2 (табл. 9) вычисляются по уравнениям (5.1) и (5.2) значения температур теплоносителя в характерных точках, соответствующих

$$\varphi_o^{H.O} = (t_g - 8) / (t_g - t_{H.O}),$$

$$\varphi_o^{B.P} = (t_g - t_{H.B}) / (t_g - t_{H.O})$$

и φ_o^u , величину которого можно взять из таблицы 11. В этой же таблице приведены и другие параметры, необходимые в дальнейших расчетах.

Таблица 11.

Значения некоторых параметров центрального регулирования теплового потока.

$(\tau_1^p - t_2^p), ^\circ\text{C}$	140÷70	150÷70	160÷70	170÷70	180÷70
φ_o^u	0,373	0,344	0,318	0,299	0,279
U	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4
$\tau_{cp}, ^\circ\text{C}$	67,8	68,7	69,6	70,5	71,3
$t_{2.u}, ^\circ\text{C}$	43,9	42,5	41,4	40,1	39,3

Выше приняты обозначения:

$\varphi_o^{H.O}$, $\varphi_o^{B.P}$ и φ_o^u – относительный тепловой поток отопления соответственно в начале (конце) отопительного периода, в точке, соответствующей расчетной наружной температуре $t_{H.B}$ для проектирования вентиляции, и в точке излома температурного графика (при температуре τ_1^u воды в подающей магистрали, равной 70°C);

U - расчетное значение коэффициента смешения отопительного ввода;

τ_{cp} - среднегодовая температура теплоносителя в теплопроводах, $^\circ\text{C}$;

$t_{2.u}$ - температура воды в обратном трубопроводе в точке излома температурного графика, $^\circ\text{C}$.

Построение отопительного графика выполняется в следующей последовательности:

а) по данным таблицы 5.2 с включением дополнительно вычисленных значений τ_1 и t_2 в точках соответствующих $\varphi_o^{n.o}$, $\varphi_o^{B.P}$ и φ_o^u , строится в осях φ_o и (τ, t) график изменения температур τ_1 и t_2 ;

б) производится корректировка температурного графика в диапазоне $\varphi_o^{n.o} \leq \varphi_o \leq \varphi_o^u$ – диапазон I. На этом диапазоне температура воды в подающем трубопроводе сохраняется постоянной и равной $\tau_{1.u} = 70^\circ\text{C}$;

в) вычисляется расчетный расход G_o^p сетевой воды на отопление на диапазоне изменения $\varphi_o^u \leq \varphi_o \leq 1$ – диапазоны II и III.

$$G_o^p = \frac{\sum Q_o^p \cdot 10^6}{c(\tau_1^p - t_2^p)}, \quad (5.25)$$

где Q_o^p – расчетное значение отопительного теплового потока, МВт;

c – удельная теплоемкость воды, равная 4190 Дж/кг * К;

τ_1^p и t_2^p – расчетные значения температур теплоносителя соответственно в подающем трубопроводе теплосети и обратном трубопроводе после системы отопления, $^\circ\text{C}$.

Эта величина расхода сохраняется постоянной на диапазонах II и III (качественное регулирование отопительной нагрузки) и наносится на график в осях φ_o и G ;

г) расход G_o – сетевой воды на отопление при любой наружной температуре на диапазоне I- $\varphi_o^{n.o} \leq \varphi_o \leq \varphi_o^u$ – вычисляется по формуле

$$G_o = G_o^p \frac{\tau_1^p - t_2^p}{70 - t_2} \cdot \varphi_o, \quad (5.26)$$

В этом уравнении значения t_2 и φ_o принимаются соответствующими друг другу.

Значения расхода G_o , определяемого по уравнению (5.25) соответствуют режиму местного количественного регулирования, осуществляемого с помощью автоматических регуляторов отопления.

Все рассчитанные величины заносятся в таблицу 5.5, по данным которой строится график регулирования, принципиальное изображение которого представлено на рис. 4. Здесь на одной из осей абсцисс наносятся значения φ_o , а на другой – соответствующие значения t_n , определяемые по уравнению

$$t_n = t_g - \varphi_o(t_g - t_{n.o}), \quad (5.27)$$

Регулирование теплового потока вентиляции. Регулирование теплового потока вентиляции при двухступенчатой смешанной схеме подключения ВВП систем горячего водоснабжения не имеет принципиальных отличий от регулирования при параллельной схеме подключения ВВП. Расчет параметров регулирования производится в соответствии с п.3.2 настоящих указаний.

Регулирование теплового потока горячего водоснабжения. Режимными условиями для расчета параметров регулирования и оборудования систем горячего водоснабжения являются условия, определяемые точкой излома температурного графика. Расчетный расход G_r^p сетевой воды в этой точке, проходящий через вторую ступень водоподогревательной установки, вычисляется по формуле

$$G_G^P = \frac{G_G^C \left(\frac{55 - t_{II}}{55 - t^3} + 0,2 \right) \cdot 10^6}{c(70 - t_{2u})}, \quad (5.28)$$

где t_n - температура водопроводной воды после первой степени ВВП в точке излома графика, принимается на $5 \div 10$ °С меньше температуры $t_{2.u}$ воды после отопления, значения которой приведены в таблице 11;

t^3 - расчетная температура водопроводной воды в отопительном сезоне, принимается равной 5 °С.

Последовательность расчета параметров регулирования следующая:

а) в диапазонах II и III ($\varphi_o^u \leq \varphi_o \leq 1$) с увеличением φ_o возрастает температура воды после системы отопления. Это приводит к увеличению производительности ВВП первой ступени. Поэтому с увеличением φ_o расход сетевой воды через подогреватель второй ступени, заметно уменьшается. Приблизительно на указанных диапазонах расход G_G сетевой воды через вторую ступень может быть найден по уравнению

$$G_G = 20,4 G_G^P \rho^{0,06} \cdot e^{-(1+3,8\varphi_o)} \cdot \varphi_o^{0,58}, \quad (5.29)$$

где $\rho = Q_G^c / Q_o^p$ - отношение среднезимнего теплового потока горячего водоснабжения к расчетному отопительному.

б) проводимое в диапазоне I количественное регулирование отопительного теплового потока вызывает уменьшение расхода воды, поступающей в первую ступень ВВП из местных отопительных установок, при одновременном понижении её температуры по уравнению $t_{2.u}$. Это приводит к снижению теплопроизводительности первой ступени подогревательной установки, которое необходимо компенсировать увеличением расхода сетевой воды через вторую ступень водоподогревателя. Достаточной для практических расчетов точностью величина расхода G_G сетевой воды через вторую ступень водоподогревателя горячего водоснабжения в диапазоне I может быть определена по эмпирическому уравнению

$$G_G = G_G^P (1 + 1,12 \varphi_o^{-0,13} - 1,31 \varphi_o^{0,4 \varphi_o^{u,o} - 0,4 \varphi_o}), \quad (5.30)$$

с) температура теплоносителя t'_2 после систем отопления и водоподогревателей первой ступени находится по выражениям:

- на диапазоне I

$$t'_2 = 70 - \frac{(\varphi_o \cdot Q_o^p + Q_G^c) \cdot 10^6}{c(G_o + G_G)}, \quad (5.31)$$

где G_o и G_2 принимаются соответственно по уравнениям (5.26) и (5.30);

- на диапазонах II и III

$$t'_2 = \tau_1 - \frac{(\varphi_o Q_o^p + Q_G^c) \cdot 10^6}{c(G_o^P + G_G)}, \quad (5.32)$$

где G_o^P и G_2 принимаются соответственно по уравнениям (5.25) и (5.29);

Эта же температура t'_{2u} в точке излома находится по выражению

$$t'_{2u} = 70 - \frac{(\varphi_o^u Q_o^P + Q_G^C) \cdot 10^6}{c(G_o^P + G_G^P)}, \quad (5.33)$$

г) определяется расход $G_{X.B}^P$ водопроводной воды на горячее водоснабжение

$$G_{X.B}^P = \frac{Q_G^C \cdot 10^6}{c(t_G^{CP} - t_X^3)}, \quad (5.34)$$

где $t_G^{CP} = 55^{\circ}\text{C}$ - средняя температура горячей воды у водоразборных приборов, $^{\circ}\text{C}$;

$t_X^3 = 5^{\circ}\text{C}$ - расчетная зимняя температура водопроводной воды, $^{\circ}\text{C}$.

д) в неотапительный период температура теплоносителя в подающем трубопроводе поддерживается равной $t_{lu} = 70^{\circ}\text{C}$, а расход $G_G^{C.II}$ сетевой воды на горячее водоснабжение определяется по формуле

$$G_G^{C.II} = G_G^P \cdot \beta \frac{55 - t_x^{\prime}}{55 - t_x^3}, \quad (5.35)$$

где β - коэффициент, принимаемый для коммунального сектора 0,8, для курортных городов - 1,5, для предприятий 1;

$t_x^{\prime} = 15^{\circ}\text{C}$ - расчетная температура воды в холодном водопроводе в неотапительный период.

Температура теплоносителя t_4^{\prime} после подогревателей горячего водоснабжения при этом будет равной

$$t_4^{\prime} = \tau_2 = 70 - \frac{70 - t_{2.u}}{\frac{55 - t_{II}}{55 - t_x^3} + 0,2}, \quad (5.36)$$

Суммарный расход сетевой воды и её температура. Суммарный расход G_{Σ} сетевой воды при любой температуре наружного воздуха в течении отопительного периода определяется как сумма соответствующих значений расходов теплоносителя на отдельные виды теплопотребления, т.е.

$$G_{\Sigma} = G_o + G_{\theta} + G_G, \quad (5.37)$$

Средневзвешенная температура воды в обратном трубопроводе в отопительный период определяется по формуле

$$\tau_2 = \frac{(G_o + G_G)t_2^{\prime} + G_B \cdot t_3}{G_o + G_G + G_B}, \quad (5.38)$$

Построение графиков регулирования. Все данные предыдущих расчетов удобно вести в форме таблицы 12, на основании которой строятся графики регулирования. Последовательность построения графиков приведена в п. 3.5., Примерный вид графиков показан на рис. 4.

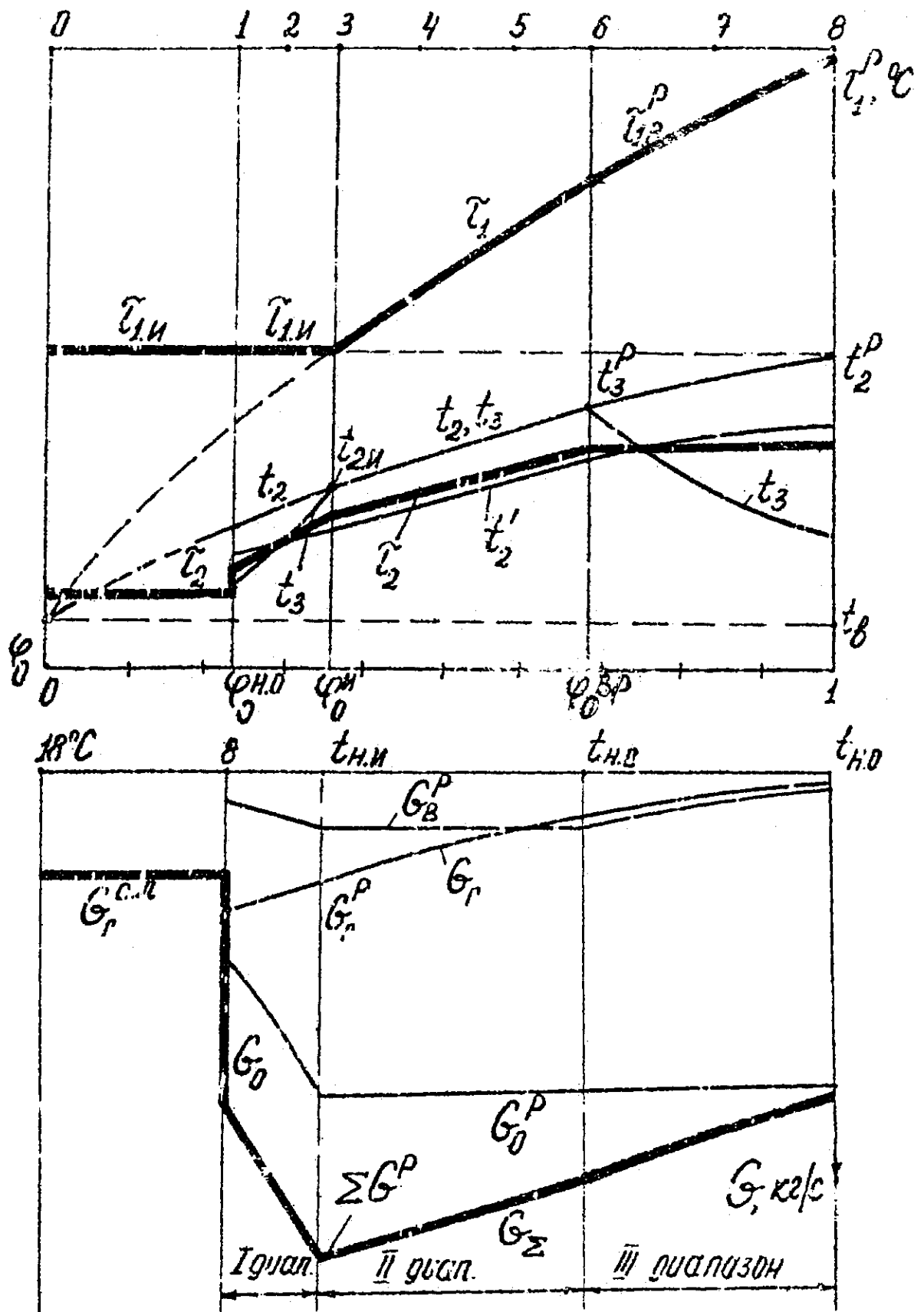


Рис. 5.2. Графики регулирования при смешанном подключении ВВП

Параметры режимов регулирования по отопительному тепловому потоку при двухступенчатом смешанном подключении ВВП.

Таблица 12

№ строки	Расчетные параметры	Значения расчетных параметров в характерных точках осей абсцисс									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.	φ_o	0	$\varphi^{h.o}_o$	*	φ^u_o	*	*	$\varphi^{6.p}_o$	*	1,0	
2.	$t_{н,}^0 \text{C}$	18	8	(5.22)						$t_{н.о}$	
3.	$\tau_{1,}^0 \text{C}$	70					(5.1)				τ_1^p
		18									
4.	$t_2,^0 \text{C}$	-	(37)							t^p_2	
		18									
5.	$G_o, \text{кг/с}$	0		(5.26)			(5.25)				
		0									
6.	$G_2, \text{кг/с}$	(5.35)					(5.28)		(5.29)		
				(5.30)							
7.	$t_2,^0 \text{C}$	(5.36)		(5.31)			(5.33)		(5.32)		
8.	$t_3,^0 \text{C}$			(5.14)			(5.2)		(5.15)		
9.	$G_0, \text{кг/с}$	0					(5.17)		(5.18a)		
				(5.18)							
10.	$G_{\Sigma}, \text{кг/с}$	(5.35)		(5.37)							
11.	$\tau_2,^0 \text{C}$	(5.36)			(5.38)						

5.5. Графики регулирования тепловых потоков при двухступенчатом последовательном подключении ВВП систем горячего водоснабжения

Регулирование тепловых потоков для схемы с последовательным присоединением ВВП систем горячего водоснабжения принципиально возможно по отопительному тепловому потоку, как это рассмотрено ранее для других схем. Однако для схемы с последовательным подключением наиболее эффективен режим регулирования по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (повышенный температурный график), построение которого и приводится ниже.

Регулирование совместного теплового потока отопления и горячего водоснабжения по повышенному графику температуры сетевой воды. За основу построения повышенного температурного графика принимается рассмотренный в п.2 опорный график качественного регулирования отопительной нагрузки изломом в точке $\tau_1 = \tau_{1,u} = 70^\circ\text{C}$.

В дополнение к полученным по уравнениям (5.1) и (5.2) значениям, приведенным в таблице 9, вычисляются значения τ_1 и t_2 в характерных точках, соответствующим значениям

$$\varphi_o^{n.o} = (t_B - 8)/(t_B - t_{n.o}) \quad ; \quad \varphi_o^{B.P} = (t_B - t_{H.B})/(t_B - t_{n.o})$$

и φ_o^u , величину которого можно взять из таблицы 11.

Здесь обозначено:

$t_B, t_{n.o}, t_{H.B}$ - температура воздуха соответственно внутреннего, наружного для проектирования отопления и для проектирования вентиляции, $^\circ\text{C}$.

Расчет температурного графика (повышенного) производится в следующей последовательности:

а) в диапазоне $\varphi_o^u \leq \varphi_o \leq 1$ (диапазоны II и III) температура τ_1 воды в подающем теплопроводе находится по уравнению

$$t_1' = \tau_1 + \rho(\tau_1^p - t_2^p) \left(1 - \frac{t_{II} - t_x^3}{t_{I}^{CP} - t_x^3} \cdot \frac{t_2 - t_x^3}{t_{2,u} - t_x^3}\right), \quad (5.39)$$

где τ_1 - текущая температура теплоносителя в подающем теплопроводе по опорному графику, $^\circ\text{C}$;

$\rho = Q^c / Q^p$ - отношение среднезимнего теплового потока горячего водоснабжения к расчетному отопительному;

τ_1^p - температура воды в подающем трубопроводе при расчетной для проектирования отопления температуре наружного воздуха, $^\circ\text{C}$;

$t_2, t_2^p, t_{2,u}$ - температура воды в обратном трубопроводе после местных систем отопления соответственно текущая, расчетная и в точке излома, $^\circ\text{C}$;

t_x^{cp}, t_x^3 - температура водопроводной воды соответственно средняя (55°C) и в зимний период (5°C);

t_n - температура нагреваемой воды после первой ступени ВВП в точке излома графика, принимается на $5 \div 10^\circ\text{C}$ ниже температуры $t_{2,u}$, значение которой приведены в таблице 11;

б) в диапазоне $\varphi_o^{n.o} \leq \varphi_o \leq \varphi_o^u$ (диапазон I) температура воды в подающем трубопроводе τ_1 принимается постоянной и равной

$$t'_1 = \tau'_{1.u} = \tau_{1.u} + \rho(\tau_1^P - t_2^P) \frac{t_{\Gamma}^{CP} - t}{t_{\Gamma}^{CP} - t_x^3}, \quad (5.40)$$

где $\tau_{1.u}$ - температура воды подающем теплопроводе

в точке излома температурного графика при опорном режиме равная 70°C .

Примечание. Если τ'_1 получается меньше τ_1 , то следует принимать $\tau'_1 = \tau_1$.

в) в диапазонах II и III температура t'_2 сетевой воды после ВВП первой ступени определяется по уравнению

$$t'_2 = t_2 - \rho(\tau_1^P - t_2^P) \cdot \frac{t_{\Gamma} - t_x^3}{t_{\Gamma}^{CP} - t_x^3} \cdot \frac{t_2 - t_x^3}{t_{2.u} - t_x^3}, \quad (5.41)$$

Примечание. В случае, когда $t_2 \geq t_x^3 + \frac{t_{\Gamma}^{CP} - t_x^3}{t_{\Pi} - t_x^3} (t_{2.u} - t_x^3)$, то величину t'_2 следует

определять по формуле :

$$t'_2 = t_2 - \rho(\tau_1^P - t_2^P), \quad (5.42)$$

г) в диапазоне $\varphi^{h.o} \leq \varphi_o \leq \varphi^u_o$ (диапазон I), в котором производится количественное регулирование отпуска теплоты на отопление, происходит заметное уменьшение расхода теплоносителя, проходящего как через первую, так и через вторую ступени ВВП горячего водоснабжения. Чтобы избежать резкого снижения теплопроизводительности всей водоподогревательной установки, приходится либо повышать температуру воды в подающем теплопроводе, либо переходить на режим работы ВВП по смешанно-последовательной схеме, т.е. частичным «перепуском» воды через подогреватель второй ступени в обратный теплопровод. Дополнительный расход G_{Γ} сетевой воды для обеспечения суммарной расчетной теплопроизводительности подогревателей горячего водоснабжения может быть определена по приближенной зависимости

$$G_{\Gamma} = G_{\Gamma}^P (1,12\varphi_o^{-0,13} - \varphi_o^{0,4\varphi_o^{h.o} - 0,4\varphi_o}) \quad , \quad (5.43)$$

где величина G_{Γ}^P определяется по уравнению

$$G_{\Gamma}^P = \frac{Q_{\Gamma}^C \cdot 10^6}{C(\tau'_{1.u} - t_{2.u})} \cdot \left(\frac{55 - t_{\Pi}}{55 - t_x^3} + 0,2 \right), \quad (5.44)$$

где c - удельная теплоемкость, равная $4190 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

В диапазоне I температура воды t'_2 после системе отопления и горячего водоснабжения находится по формуле

$$t'_2 = \tau'_{1.u} - \frac{(\varphi_o Q_o^P + Q_{\Gamma}^C) \cdot 10^6}{c(G_o + G_{\Gamma})}, \quad (5.45)$$

где G_o - расход теплоносителя в диапазоне I, определяемый по формуле

$$G_o = G_o^P \frac{\tau_1^P - t_2^P}{\tau'_{1.u} - t_2}, \quad (5.46)$$

где G_o^P – расчетный расход сетевой воды на отопление, равный

$$G_o^P = \frac{Q_o^P \cdot 10^6}{c(\tau_1^P - t_2^P)}, \quad (5.47)$$

а G_{Γ} вычисляется по уравнению (5.43).

д) в неотапливаемый период температура τ'_1 воды в подающем теплопроводе сохраняется равной $\tau'_{1.u}$ (ур. (5.40)), а температура τ_2 в обратном теплопроводе находится по формуле

$$\tau_2 = \tau'_{1.u} - \frac{\tau'_{1.u} - t_{2.u}}{\frac{55 - t_{II}}{55 - t_x^3} + 0,2}, \quad (5.48)$$

При этом расход $G_{Г}^{c..l}$ сетевой воды на горячее водоснабжение определяется по формуле

$$G_{Г}^{c..l} = G_{Г}^P \cdot \beta \frac{55 - t_x^l}{55 - t_x^3}, \quad (5.49)$$

где β - коэффициент, принимаемый для коммунального сектора равным 0,8, для курортных городов - 1,5, для предприятий - 1,0;

t_x^l - температура водопроводной воды в отопительный период, равная 15⁰С.

Регулирование теплового потока вентиляции. При двухступенчатой последовательной схеме присоединения ВВП горячего водоснабжения регулирование вентиляционного теплового потока принципиально не отличается от регулирования при смешанной схеме и подробно описано в соответствующем разделе.

Ниже приводится последовательность расчетов графиков регулирования вентиляционной нагрузки без детальных разъяснений:

а) в диапазоне $\varphi^u_o \leq \varphi_o \leq \varphi^{sp}_o$ (диапазон II) требуемые для вент установок температуры теплоносителя и характер их изменения примерно соответствуют их текущим значениям для отопительных системы и поэтому принимаются равными значениями, найденным по формулам (5.39) и (5.2).

Расход $G_в$ теплоносителя на этом диапазоне принимается постоянным и равным его расчетному, т.е. $G_в^P$, определяемому по уравнению

$$G_в^P = \frac{Q_B^P \cdot 10^6}{c(\tau_{1,B}^P - t_3^P)}, \quad (5.50)$$

где $t_{1,B}^P$ и t_3^P - расчетные температуры теплоносителя для проектирования вентиляции, определяемые соответственно по уравнениям (69) и (31) в точке φ_o соответствующих значений φ^{sp}_o .

б) в диапазонах I и III температуры воды после калориферов системе вентиляции находятся по уравнениям соответственно (5.14) и (5.15), а расходы теплоносителя по уравнениям соответственно (5.18) и (5.18а).

Суммарный расход сетевой воды и её температура. Суммарный расход G_{Σ} сетевой воды при любой температуре наружного воздуха в диапазонах II и III определяется как сумма расходов теплоносителя на отопление и вентиляцию, а внутри диапазона I- на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Средневзвешенная температура воды в обратном трубопроводе в отопительный период определяется по формуле

- в диапазоне I

$$\tau_2 = \frac{(G_o + G_r)t'_2 + G_B t_3}{G_o + G_r + G_B}, \quad (5.51)$$

- в диапазонах II и III

$$\tau_2 = \frac{G_o t'_2 + G_B t_3}{G_o + G_B}, \quad (5.52)$$

Построение графиков регулирования. Расчеты, произведенные по указанным формулам, сводятся в таблицу 13, на основании которой строятся графики регулирования, примерный вид графиков показан на рис. 5.

Параметры режимов центрального регулирования по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения при двухступенчатом последовательном регулировании ВВП (повышенный график).

Таблица 13.

№ строки	Расчетные параметры	Значения расчетных параметров в характерных точках осей абсцисс								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	φ_o	0	$\varphi^{h.o}_o$	*	φ^u_o	*	*	$\varphi^{g.p}_o$	*	1,0
2.	$t_n, ^\circ\text{C}$	18	8	(5.27)						$t_{n.o}$
3.	$\tau_1, ^\circ\text{C}$	70	70	70	70	(5.1)				τ_1^p
		18	(5.1)							
4.	$t_2, ^\circ\text{C}$	-	(5.2)						t_2^p	
		18	(5.2)							
5.	$G_o, \text{кг/с}$	0		(5.26)			(5.25)			
		0								
6.	$G_{z}, \text{кг/с}$	(5.49)		0		0	0	0	0	0
		(5.43)								
7.	τ_1	(5.40)		(5.40)			(5.39)			
8.	$t_2, ^\circ\text{C}$	(5.48)		(5.45)			(5.41)			
9.	$t_3, ^\circ\text{C}$	-	(5.14)			(5.2)			(5.15)	
10.	$G_{g}, \text{кг/с}$	0		(5.18)		(5.50)			(5.18a)	
		0								
11.	$G_{\Sigma}, \text{кг/с}$	(5.49)								
12.	τ_2	(5.48)					(5.52)			
		(5.51)								

№№№
точек

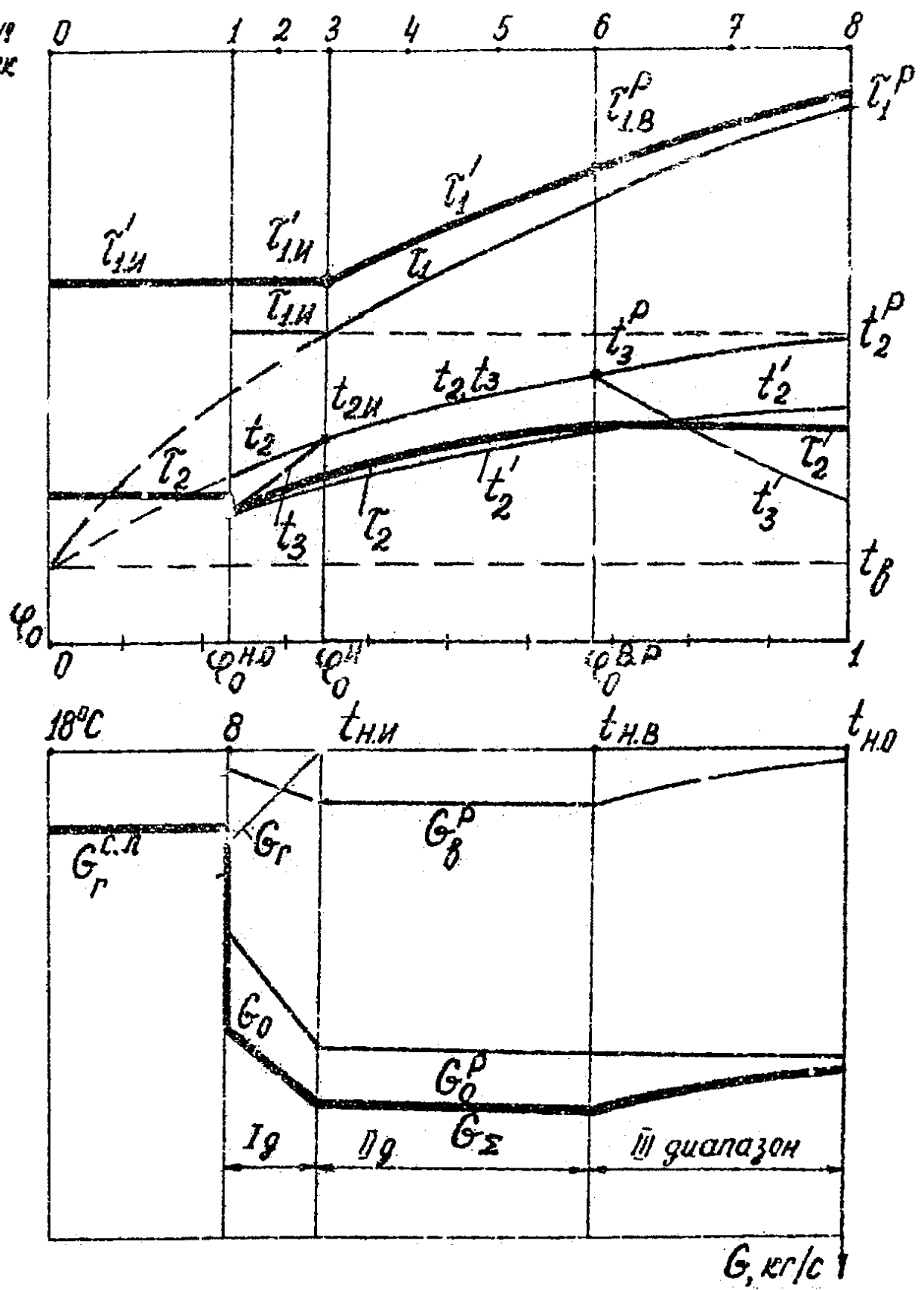


Рис. 5.3. Графики регулирования при последовательном включении БВЛ

ЛИТЕРАТУРА:

1. Копко В.М. Теплоснабжение. – М: Изд-во АСВ, 2012.-336с.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 472 с.
3. Ионин А.А. и др. Теплоснабжение. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.
4. Козин В.Е. и др. Теплоснабжение. Уч. пос. – М., Высшая школа , 1980. – 408 с.
5. СНиП 41-02-2003 Тепловые сети. – М. : Госстрой России, 2003 г.
6. СНиП 41-03-2003 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – М. : Госстрой России, 2004 г.
7. СП 41-101-95 Проектирование тепловых пунктов. – М. : Госстрой России, 2004 г.
8. СНиП 3.05.03-85 Тепловые сети. – М. : Госстрой России, 2000 г.
9. МДК 4-02.2001 Типовая инструкция по технической эксплуатации тепловых сетей коммунального теплоснабжения. - М. : Госстрой России, 2002 г.
10. РД 153-34.0-20.518-2003 Типовая инструкция по защите трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии. - М. : Госстрой России, 2003 г.
11. ГОСТ 21.605-82 (СТ СЭВ 5676-86). Сети тепловые (тепломеханическая часть). Рабочие чертежи. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.
12. Методика определения фактических потерь тепловой энергии через тепловую изоляцию трубопроводов водяных тепловых сетей систем централизованного теплоснабжения. – Утверждена Департаментом государственного энергетического надзора МЭ РФ 24.02.2004 г.
13. СП 41-104-2000 Проектирование автономных источников теплоснабжения. – М.: Госстрой России, 2001.
14. Указания по обслуживанию тепловых сетей.
15. СП 41-105-2002 Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с индустриальной тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке. – М.: Госстрой России, 2003.
16. СП 41-104-2000 Проектирование автономных источников теплоснабжения.- М.: ФГУП ЦПП, 2004.
17. Полонский В. М. Автономное теплоснабжение : учеб. пособие для вузов по спец. 653500 "Стр-во" / В. М. Полонский, Г. И. Титов, А. В. Полонский. - М. : Ассоц. строит. вузов, 2007. - 152 с. : ил.
18. Кравченко Г. М. Повышение эффективности работы открытых систем теплоснабжения : учеб. пособие для вузов по направлению "Стр-во" / Г. М. Кравченко, В. И. Бабенков, А. Б. Быков ; Ростов. гос. строит. ун-т. - Ростов н/Д., 2002. - 48 с. : ил. - Библиогр.: с. 40.
19. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / И. П. Александров [и др.] ; под ред. А. А. Николаева. - Курган : ИНТЕГРАЛ, 2007. - 360 с. : ил.

Подписано в печать 29.01.2018 формат 70/100/16
Усл.Печ.л 2,56 тираж 20 заказ № 3.002
Отпечатано в ООО «Контур» г. Бендеры, ул. Московская, 59

