

ГЛАВА 9. ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА МОДЕЛЯХ.

9.1. Постановка вопроса.

Классические методы регулирования тепловых нагрузок [69, 107] (качественный, количественный и смешанный) основаны на варьировании двух показателей теплоносителя, определяющих тепловой поток: массы и температуры. При этом упускается еще одна возможность регулирования: транспорт одного и того же количества теплоты может быть организован не одним, а двумя и более отдельными потоками рабочего тела с той же его суммарной массой. Такой принцип организации транспорта теплоты с разными уровнями температурных потенциалов может быть положен в основу стабилизации режима работы теплосетей в целом.

В настоящее время режим работы теплосетей, как правило, основан на качественном методе регулирования нагрузок. Он выполняется одновременно по двум контурам циркуляции: внешнему – со стороны теплоисточника, включая центральный тепловой пункт (ЦТП) и квартальные сети до индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) и внутреннему – за ИТП в пределах объекта теплоснабжения (дома). При этом циркуляция сетевой воды в обоих контурах, как правило, постоянная, хотя во втором контуре она может меняться. Качественное регулирование во внешнем контуре теплосети до ИТП имеет свои недостатки. В частности, затрудняется регулирование тепловых нагрузок между объектами теплоснабжения; создаются благоприятные условия для развития тепловой и коррозионной усталости металла труб и развития низкотемпературной коррозии. Вследствие этого возрастают теплопотери за счет разрывов и утечек теплоносителя.

Широкое распространение предизолированных (ПИ) труб в условиях качественного регулирования не решает проблемы в целом, т. к. они, хотя и способствуют снижению теплопотерь через теплоизоляцию сетей, тем не менее, не противостоят негативным последствиям тепловой усталости, приводящей к их разрушению.

Предлагается отказаться от качественного регулирования тепловых нагрузок во внешнем контуре циркуляции теплосетей как до ЦТП, так и до ИТП, возложить эти функции на внутренние контуры за ИТП по каждому объекту теплоснабжения в отдельности с сохранением качественного метода регулирования только в этих контурах. Циркуляцию и температуру сетевой воды во внешнем контуре системы теплоснабжения до ИТП необходимо поддерживать постоянными в течение длительного периода. Не исключается возможность организации планомерного изменения температуры сетевой воды в течение отопительного периода (от начала до его конца) с целью снижения тепловой «аритмии» труб. Ожидаемый положительный эффект от реализации предложения состоит в следующем: исключаются условия, способствующие образованию тепловой и коррозионной усталости металла труб и остальных комплектующих составляющих теплосетей. Это снижает теплопотери за счет разрывов и утечек теплоносителя как доминирующего фактора. Уменьшаются затраты электроэнергии на транспорт теплоносителя за счет увеличения

его температурного потенциала и соответствующего снижения массового расхода; стабильная температура и циркуляция теплоносителя способствуют повышению надежности работы вспомогательного оборудования теплосетей в целом и, в частности, ПИ - труб в бесканальных прокладках. Улучшаются условия для стабилизации режимов в системах автоматики; создаются благоприятные условия для стабильной загрузки ТЭЦ по тепловому графику в летнее время года; улучшаются условия для организации и выполнения ряда других мероприятий, направленных на повышение надежности и качества работы систем теплоснабжения в целом.

Негативные последствия от реализации предложения ожидаются в виде повышения температуры уходящих газов на котлах, увеличения температурных напоров в теплосетях и массовых расходов теплоносителя. По мере освоения такого режима работы теплосетей эти недостатки следует компенсировать внедрением ряда адекватных мероприятий в установленном порядке. Например, известное увеличение теплопотерь через теплоизоляцию за счет повышенной (положим, до 110 – 120 °С) температуры прямой сетевой воды компенсируется существенным снижением разрывов труб и адекватной величиной теплопотерь за счет утечек теплоносителя. Ожидаемая тенденция к повышению температуры уходящих газов на энергоисточниках (котлах) может быть нейтрализована путем применения каскадной схемы питания котлов (КСП), при которой высокотемпературный подогрев воды осуществляется за счет ее нагрева в экранах топки, а низкотемпературный – в конвективных поверхностях нагрева [73, 86]. Не исключается организация ряда других мероприятий в плане утилизации уходящих газов.

Актуальным направлением в системе теплоснабжения следует считать переход на пониженный температурный уровень теплоносителей [94, 107]. С одной стороны это позволит снизить уровень теплопотерь как минимум в два раза, с другой стороны такое направление в системе теплоснабжения потребует серьёзного пересмотра установившихся традиционных принципов строительства как теплоисточников, так и теплоприёмников. Исследования, выполненные в этом направлении, показывают, что технологическая возможность организации системы теплоснабжения с температурой прямой воды порядка 30 – 50 °С и обратной порядка 20 – 30 °С не вызывает сомнений. Такой факт свидетельствует о настоятельной необходимости замены традиционных конструкций настенных змеевиков и радиаторов теплоприёмниками с большой поверхностью, к примеру, путём организации напольного.

9.2. Показатели эффективности системы теплоснабжения.

До настоящего времени не разработан основополагающий показатель, определяющий характеристику теплосети и системы теплоснабжения в целом. Решение этой проблемы требует организации систематического анализа отчётных показателей по специальным методикам, формирования выводов в отношении дальнейшего усовершенствования системы теплоснабжения.

Можно показать, что широко используемый показатель относительных теплопотерь в сетях $q_{\text{пот}}$ не пригоден для сопоставления между собой теплосетей разных размеров. Такой вывод следует из простого анализа механизма абсолютных теплопотерь, который можно описать, введя определяющие его функции:

$\beta_y = Q_y / (Q_T + Q_y)$ – доля теплопотерь с утечкой сетевой воды в суммарном балансе: Q_T , Q_y – абсолютные теплопотери через изоляцию трубопроводов и с утечками воды в теплосети. Соответственно

$$Q_T + Q_y = Q_T (1 - \beta_y)^{-1}, \quad (9.1)$$

$\Delta\tau_{\text{из}}$ – температурный напор между рабочими потоками в исследуемой теплосети и окружающей средой ($t_{\text{окр}}$):

$$\Delta\tau_{\text{из}} = 0,5(t_{\text{п}}^{\text{cp}} + t_{\text{о}}^{\text{cp}}) - t_{\text{окр}}. \quad (9.2)$$

В случае надземной прокладки теплосетей в формуле (9.2) $t_{\text{окр}} = t_{\text{н}}$, в случае подземной следует считать, что температура окружающей среды равна температуре грунта, т. е. $t_{\text{окр}} = t_{\text{гр}}$.

Теплоту $Q_{\text{п}}$, доставляемую потребителю, определим так:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{э}} - Q_T - Q_y = K_{\text{об}} F_{\text{об}} \Delta\tau_{\text{об}}, \quad (9.3)$$

где $Q_{\text{э}}$ – отпуск теплоты от энергоисточника, $\Delta\tau_{\text{об}} = t_{\text{пом}} - t_{\text{н}}$ – температурный напор через ограждающие поверхности помещений; $K_{\text{об}}$ – обобщенный коэффициент теплопередачи объектов теплоснабжения; $F_{\text{об}}$ – суммарная (виртуальная) поверхность объектов теплоснабжения; $t_{\text{н}}$, $t_{\text{пом}}$ – температуры наружного воздуха и в помещениях объектов теплоснабжения.

Абсолютные значения теплопотерь через теплоизоляцию теплосетей Q_T и с утечками Q_y теплоносителя выразим так:

$$Q_T = K_1 L_{\text{ТС}} \Delta\tau_{\text{из}}, \quad (9.4)$$

$$Q_y = Q_T \beta_y / (1 - \beta_y), \quad (9.5)$$

где: K_1 – линейный коэффициент теплопередачи через теплоизоляцию сетей; $L_{\text{ТС}} = 0,25 S_{\text{ТС}}^2 / (\pi V_{\text{ТС}})$ – виртуальная длина исследуемой теплосети.

Относительную величину $q_{\text{пот}}$ теплопотерь в сетях определим так:

$$q_{\text{пот}} = (Q_{\text{э}} - Q_{\text{п}}) / Q_{\text{э}} = Q_{\text{пот}} / Q_{\text{э}} = (Q_T + Q_y) / Q_{\text{э}}. \quad (9.6)$$

На основании (9.3) – (9.5) выражение (9.6) для расчета $q_{\text{пот}}$ представим в виде:

$$q_{\text{пот}} = \frac{R_q \Delta\tau_{\text{из}}}{R_q \Delta\tau_{\text{из}} + \Delta\tau_{\text{об}} (1 - \beta_y)} = \left(1 + \frac{N_{q2} F_{\text{об}} V_{\text{ТС}}}{N_{q1} S_{\text{ТС}}^2} \right)^{-1}, \quad (9.7)$$

где согласно (9.3), (9.4)

$$\left. \begin{aligned} R_q &= \frac{K_1 L_{\text{ТС}}}{K_{\text{об}} F_{\text{об}}} = \frac{Q_{\text{Т}}}{Q_{\text{П}}} \cdot \frac{\Delta\tau_{\text{об}}}{\Delta\tau_{\text{из}}}, \\ N_{q1} &= 0,25 K_1 \Delta\tau_{\text{из}}, \\ N_{q2} &= \pi K_{\text{об}} (1 - \beta_y) \Delta\tau_{\text{об}}. \end{aligned} \right\} \quad (9.8)$$

В формуле (9.8) соотношение между коэффициентами теплопередачи $K_1/K_{\text{об}}$ в регионе теплоснабжения практически постоянно. Следовательно, комплекс $R_q = f(L_{\text{ТС}}, F_{\text{об}})$ по сути дела является функцией двух показателей, характеризующих размеры теплосетей $L_{\text{ТС}}$ и объекта теплоснабжения $F_{\text{об}}$. При последующих уточнениях и доработках комплекс R_q может быть рекомендован в качестве технического показателя системы теплоснабжения наряду с упомянутыми выше показателями $L_{\text{ТС}}$, $D_{\text{ТС}}$, $F_{\text{ТС}}$, $S_{\text{ТС}}$ и $V_{\text{ТС}}$. Этот факт имеет значение при исследовании обобщённых автомоделльных процессов в системах теплоснабжения.

В формуле (9.7) значения $N_{q1} \approx \text{const}$ и $N_{q2} \approx \text{const}$. Следовательно, величина относительных теплопотерь в сетях является функцией трёх независимых переменных: поверхностей объектов теплоснабжения $F_{\text{об}}$, поверхностей и объёмов теплосетей, т. е. $S_{\text{ТС}}$ и $V_{\text{ТС}}$.

В выкопировке из рабочего файла «АТ8» на рис. 9.1 представлены результаты примерных расчетов показателя $q_{\text{пот}}$, вычисленного по формуле (9.7) для нескольких значений R_q и $t_{\text{н}}$. При расчете температурных напоров по формуле (9.2) функции $t_{\text{п}} = t_{\text{п}}^{\text{ср}} = f_{\text{п}}(t_{\text{н}})$ и $t_{\text{о}} = t_{\text{о}}^{\text{ср}} = f_{\text{о}}(t_{\text{н}})$ в исследуемом диапазоне температур принимались линейными: $t_{\text{п}} = a_{\text{п}} t_{\text{н}} + b_{\text{п}}$ и $t_{\text{о}} = a_{\text{о}} t_{\text{н}} + b_{\text{о}}$, где на основании обобщения отчетных данных в исследуемом случае $a_{\text{п}} = -2,94$; $b_{\text{п}} = 76,5$ °С и $a_{\text{о}} = -1,04$; $b_{\text{о}} = 44,0$ °С. При подземной прокладке, где влияние температуры наружного воздуха на температуру грунта не существенно, гипербола $q_{\text{пот}} = f(t_{\text{н}})$ имеет кривизну больше, а в случае надземной – меньше. Как видно из приведенных данных (рис. 9.1) на величину показателя $q_{\text{пот}} = f(t_{\text{н}})$ сильно сказывается параметр R_q , зависящий от размеров теплосети $L_{\text{ТС}} = f(S_{\text{ТС}}, V_{\text{ТС}})$ и виртуальной поверхности объектов теплоснабжения $F_{\text{об}}$. С ростом комплекса $R_q = K_1 L_{\text{ТС}} / (K_{\text{об}} F_{\text{об}})$ показатель $q_{\text{пот}}$ возрастает. Тогда, имея в виду, что $K_1 \approx \text{const}$ и $K_{\text{об}} \approx \text{const}$, есть основания полагать, что по мере роста системы теплоснабжения в целом темп роста комплекса $L_{\text{ТС}} = f(S_{\text{ТС}}, V_{\text{ТС}})$ в сетях опережает адекватный темп роста показателя $F_{\text{об}}$.

Из результатов выполненного анализа следует, что производить сравнительную оценку эффективности режимов работы теплосетей разных размеров путем сопоставления показателей $q_{\text{пот}}$ неправомерно. Показатель

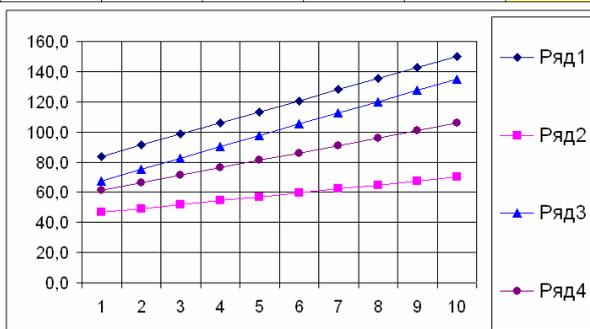
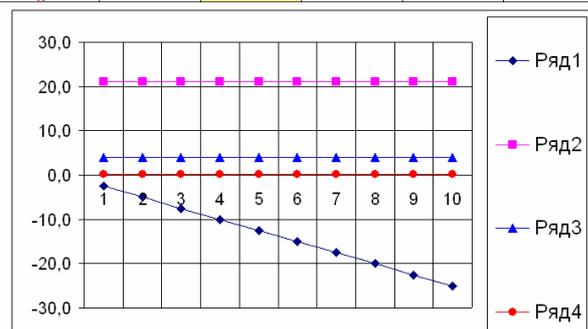
АТ8 Анализ изменения относительных $q_{пот} = (Q_3 - Q_n) / Q_3$ теплопотерь в сетях в зависимости от величины комплекса региона теплоснабжения $R_q = K_1 L_{TC} / (K_{об} F_{об})$.

Сохранить	Скопировать	Уд. из нак.	Уд. из б.уф.	X	← Исходные данные	
График	Задаваемые варианты значений R_q			X	← Результаты расчёта.	
Обозн.	Разм.	Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.4	Вар.5
R_q	-	5,0E-02	1,0E-01	1,5E-01	2,0E-01	2,5E-01
	надз.%	15,26	26,48	35,08	41,88	47,38
$q_{пот} \cdot 10^2$	подз.%	14,00	24,57	32,82	39,44	44,88
	надз.°C	67,7				
$\Delta t_{из}$	подз.°C	61,2				
	t_n	83,9				
t_o	46,6					

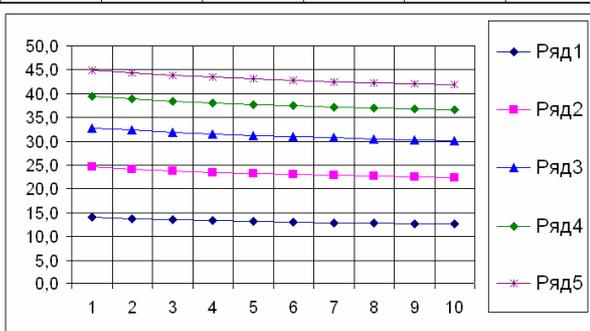
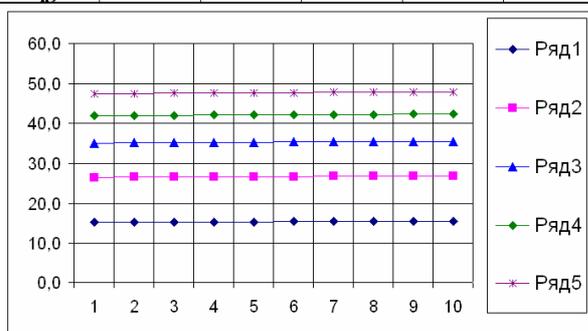
a_n	a_o	v_n	v_o
-	-	°C	°C
-2,94	-1,04	76,5	44,0
$\Delta t_{об} =$		23,5	
t_n	$t_{пом}$	$t_{гр}$	β
°C	°C	°C	-
-2,5	21,0	4,0	0,20

Графическое отображение результатов анализа.

t_n °C	От и До	-25,00	-22,50	-20,00	-17,50	-15,00	-12,50	-10,00	-7,50	-5,00	-2,50
----------	---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------



Обозн.	График	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_n	Ряд 1	-2,5	-5,0	-7,5	-10,0	-12,5	-15,0	-17,5	-20,0	-22,5	-25,0
$t_{пом}$	Ряд 2	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
$t_{гр}$	Ряд 3	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
β	Ряд 4	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Обозн.	График	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_n	Ряд 1	83,9	91,2	98,6	105,9	113,3	120,6	128,0	135,3	142,7	150,0
t_o	Ряд 2	46,6	49,2	51,8	54,4	57,0	59,6	62,2	64,8	67,4	70,0
$\Delta t_{из}^{над}$	Ряд 3	67,7	75,2	82,7	90,2	97,6	105,1	112,6	120,1	127,5	135,0
$\Delta t_{из}^{под}$	Ряд 4	61,2	66,2	71,2	76,2	81,1	86,1	91,1	96,1	101,0	106,0



Обозн.	График	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Надз.	Вар.1	15,26	15,31	15,35	15,38	15,41	15,43	15,45	15,47	15,49	15,50
	Вар.2	26,48	26,55	26,61	26,66	26,70	26,74	26,77	26,79	26,82	26,84
	Вар.3	35,08	35,16	35,23	35,29	35,33	35,38	35,41	35,44	35,47	35,50
	Вар.4	41,88	41,96	42,04	42,10	42,15	42,19	42,23	42,26	42,29	42,32
	Вар.5	47,38	47,47	47,55	47,61	47,66	47,71	47,75	47,78	47,81	47,84
$q_{пот} \cdot 10^2$											
Обозн.	График	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Подз.	Вар.1	14,00	13,73	13,50	13,31	13,15	13,00	12,88	12,77	12,68	12,59
	Вар.2	24,57	24,14	23,79	23,49	23,24	23,02	22,82	22,65	22,50	22,36
	Вар.3	32,82	32,31	31,89	31,53	31,23	30,96	30,73	30,52	30,34	30,17
	Вар.4	39,44	38,90	38,44	38,05	37,71	37,42	37,16	36,94	36,73	36,55
	Вар.5	44,88	44,31	43,83	43,43	43,08	42,77	42,50	42,27	42,05	41,86
$q_{пот} \cdot 10^2$											

Рис. 9.1. Фрагмент из файла «АТ8».

$q_{\text{пот}} = f(t_{\text{н}}, R_{\text{q}}, \beta)$ отражает теплофизическую характеристику и теплосети ($S_{\text{ТС}}, V_{\text{ТС}}$) и, объектов теплоснабжения в целом ($F_{\text{об}}$). Неправомерной является также ссылка на показатель относительных теплопотерь в рекламах применительно к одиночным трубам, когда о теплофизических свойствах (в частности, $K_{\text{об}}F_{\text{об}}$) потенциальных теплоприемников ничего не известно.

В порядке альтернативы целесообразно [109, 63] воспользоваться удельными показателями $q_s = (Q_{\text{э}} - Q_{\text{п}}) / S_{\text{ТС}} = Q_{\text{пот}} / S_{\text{ТС}}$ и $q_f = Q_{\text{э}} / F_{\text{ТС}}$. Один из них характеризует плотность теплопотерь через поверхность сети (или одиночной трубы), а другой – плотность потока тепловой энергии, поступающей через виртуальное сечение этой же сети (или одиночной трубы) в процессе транспорта теплоты. Отношение этих величин $\chi = q_s / q_f$ характеризует общий уровень эффективности теплосети (в частности, ее плотности, качества изоляции) и относительную мощность потока теплоты к объектам теплоснабжения. На основании формул (9.6) при $F_{\text{ТС}} = 4\pi V_{\text{ТС}}^2 S_{\text{ТС}}^{-2}$ и $L_{\text{ТС}} = 0,25 S_{\text{ТС}}^2 / (\pi V_{\text{ТС}})$ имеем:

$$\left. \begin{aligned} \chi &= q_s / q_f = q_{\text{пот}} F_{\text{ТС}} / S_{\text{ТС}} = Q_{\text{пот}} / Q_{\text{э}} F_{\text{ТС}} / S_{\text{ТС}} = \\ &= 0,25 q_{\text{пот}} D_{\text{ТС}} / L_{\text{ТС}} = 4\pi q_{\text{пот}} V_{\text{ТС}}^2 / S_{\text{ТС}}^3 = q_{\text{пот}} \delta_{\text{ТС}}^{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (9.9)$$

Прямым показателем, характеризующим способность теплосети сохранять потенциал транзитного потока на всем своем протяжении [116], является линейный коэффициент теплопередачи K_1 или коэффициент теплопередачи через поверхность $S_{\text{ТС}}$: $K_s = K_1 (\pi D_{\text{ТС}})^{-1} = 0,25 K_1 S_{\text{ТС}} (\pi V_{\text{ТС}})^{-1}$. Наиболее убедительной формой оценки качества теплоизоляции [69] является сопоставление его с коэффициентом теплопередачи $K_{\text{Г}}$ через стенку трубы без теплоизоляции в тех же условиях потока рабочей среды: $\eta_{\text{из}} = 1 - K_1 / K_{\text{Г}}$.

В утвержденной системе отчетности и в условиях эксплуатации показатели R_{q} , K_1 или K_s , как правило, не используются и не измеряются, что следует рассматривать как пробел в методе анализа фактических показателей. Между тем, именно эти показатели важны в решении многих проблем, касающихся вопросов оптимизации режимов систем теплоснабжения.

Организация дальнейшей, более глубокой обработки данных, предусмотренных системой отчетности, позволяет восполнить этот пробел. В частности, показатели K_s , $K_1 L_{\text{ТС}}$, $K_{\text{об}}F_{\text{об}}$ и R_{q} могут быть установлены путем систематической обработки отчетных данных по формулам, приведенным ниже:

$$\begin{aligned} q_{\text{пот}} &= (Q_{\text{э}} - Q_{\text{п}}) / Q_{\text{э}}, \\ G_{\text{у}} &= G_{\text{п}}^{\text{вх}} - G_{\text{о}}^{\text{вых}}, \\ Q_{\text{пот}} &= Q_{\text{э}} - Q_{\text{п}}, \end{aligned}$$

$$Q_y = c(G_{\Pi}^{\text{BX}} - G_{\text{O}}^{\text{ВЫХ}})[0,5(t_{\Pi}^{\text{CP}} + t_{\text{O}}^{\text{CP}}) - t_{\text{XB}}],$$

$$Q_{\text{T}} = Q_{\text{ПОТ}} - Q_y,$$

$$\Delta\tau_{\text{ИЗ}} = 0,5(t_{\Pi}^{\text{CP}} + t_{\text{O}}^{\text{CP}}) - t_{\text{ОКР}},$$

$$K_1 L_{\text{TС}} = Q_{\text{T}} / \Delta\tau_{\text{ИЗ}},$$

$$K_1 = Q_{\text{T}} / \Delta\tau_{\text{ИЗ}} / L_{\text{TС}},$$

$$\beta_y = Q_y / Q_{\text{ПОТ}},$$

$$\chi = 4\pi q_{\text{ПОТ}} V_{\text{TС}}^2 / S_{\text{TС}}^3,$$

$$K_s = K_1 L_{\text{TС}} / S_{\text{TС}};$$

$$K_{\text{ОБ}} F_{\text{ОБ}} = Q_{\Pi} / (t_{\text{ПОМ}} - t_{\text{Н}}),$$

$$R_q = K_1 L_{\text{TС}} / (K_{\text{ОБ}} F_{\text{ОБ}}),$$

где c – теплоемкость сетевой воды; G_{Π}^{BX} , $G_{\text{O}}^{\text{ВЫХ}}$ – массовые расходы прямой и обратной сетевой воды на коллекторах энергоисточника. Ориентировочно считаем, что утечки воды из прямой и обратной сети одинаковы. Тогда:

- на выходе из прямой сети и на входе в обратную

$$G_{\Pi}^{\text{ВЫХ}} = G_{\text{O}}^{\text{BX}} = G_{\Pi}^{\text{BX}} - 0,5G_y; \quad (9.10)$$

- на выходе из обратной сети

$$G_{\text{O}}^{\text{ВЫХ}} = G_{\Pi}^{\text{BX}} - G_y. \quad (9.11)$$

Соответственно средние-расчётные расходы воды в прямой, обратной и по теплосети в целом равны:

$$G_{\text{СП}}^{\text{CP}} = G_{\Pi}^{\text{BX}} - 0,25G_y; \quad (9.12)$$

$$G_{\text{СО}}^{\text{CP}} = G_{\Pi}^{\text{BX}} - 0,75G_y; \quad (9.13)$$

$$G_{\text{С}} = G_{\text{С}}^{\text{CP}} = G_{\Pi}^{\text{BX}} - 0,5G_y. \quad (9.14)$$

Организация планового эксперимента позволит с течением времени значительно глубже изучить эксплуатируемую систему теплоснабжения, систематически выявлять её неявные недостатки и принимать своевременные меры по их устранению.

Немаловажную роль следует отводить организации факторного анализа, изложенного выше, применительно к любым функциям не только в системе отчётности, но и в процессе оперативного контроля за эффективностью работы теплосетей. В частности, результаты анализа показателей $\chi = f(q_{\text{ПОТ}}, V_{\text{TС}}, S_{\text{TС}})$, $R_q = f(K_1, K_{\text{ОБ}}, L_{\text{TС}}, V_{\text{TС}})$ и др. характеризующих эффективность работы теплосетей в зависимости от их размеров и потребителей теплоты, позволяют в условиях эксплуатации принимать оптимальные решения по оптимизации нагрузок и при проектировании систем теплоснабжения в целом.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты исследования могут быть положены в основу пересмотра существующей системы отчётности и методик по оценке эффективности работы теплосетей в целом. В итоге можно констатировать следующее:

1. Показатель R_q представляет собой теплофизический комплекс, характеризующий размеры и теплоизоляцию как теплосети, так и объектов теплоснабжения.

2. Показатель относительных теплопотерь $q_{\text{пот}}$ в сетях зависит в основном от двух аргументов: от R_q и от температурного напора между рабочим телом и окружающей средой. Следовательно он характеризует режим работы комплекса в целом: качество (K_1) и целостность (β) и размеры ($L_{\text{ТС}}$) самой теплосети и теплозащиту ($K_{\text{об}}$) объектов теплопотребления.

3. Показатель относительных теплопотерь $q_{\text{пот}}$ в сетях имеет слабую гиперболическую зависимость от температурного напора между рабочим телом и окружающей средой. В случае надземной прокладки эта зависимость несущественна.

4. Величина относительных теплопотерь $q_{\text{пот}}$ в сетях имеет существенную гиперболическую зависимость от показателя R_q , зависящего в свою очередь от характеристик и теплосети, и объектов теплоснабжения. Это свидетельствует о том, что величина $q_{\text{пот}}$ не пригодна в качестве сравнительного показателя при сопоставлении теплосетей разных размеров и регионов.

5. Показатель χ в отличие от $q_{\text{пот}}$ учитывает различие в размерах сетей и может быть рекомендован в качестве величины для сопоставления между собой эффективностей режимов работы теплосетей разных размеров и регионов.

6. В качестве показателя плотности теплосети целесообразно использовать либо абсолютную, либо относительную величину утечки сетевой воды. В качестве показателя технического состояния теплоизоляции – абсолютное значение коэффициента теплопередачи (или его обратную величину – коэффициент сопротивления) через изоляцию, либо его относительную величину в сравнении с коэффициентом теплопередачи через ту же трубу без теплоизоляции.

7. Пункт 4.12.30 ПТЭ не учитывает вторую составляющую размеров теплосетей – их поверхность и рекомендуется к пересмотру.

8. Существующую систему отчетности и методы анализа режимов работы теплосетей рекомендуется пересмотреть и доработать с целью организации систематической обработки первоначальной информации и выявления теплофизических характеристик объектов анализа.

9.3. Методика исследования режимов работы систем отопления и горячего водоснабжения.

Длительный опыт эксплуатации систем теплоснабжения показывает, что вопросы адекватного распределения теплоты по отдельным потребителям

требуют специального изучения. В данном случае имеется в виду разная способность отапливаемых зданий сохранить переданную им теплоту, как в стационарных условиях, так и в случае кратковременного отключения теплосети. Сведения о теплотерях зданий, эксплуатируемых в настоящее время, находятся на уровне проектных и расчетных показателей. Они не всегда отражают реальную действительность. Между тем каждое здание имеет свои теплотехнические характеристики и способно с разной степенью полноты использовать установленные параметры теплоносителя, поступающего от центрального теплового пункта (ЦТП). В больших теплосетях города ЦТП представляет собой промежуточное звено между теплоисточником и потребителем. Как правило, часть теплоты от поступающей в него прямой сетевой воды отдаётся на бойлера для горячего водоснабжения водопроводной водой. Остальная теплота следует транзитом в так называемые квартальные сети и распределяется по отдельным потребителям. Таким образом, ЦТП это именно тот узел в системе теплоснабжения, который в ряде случаев позволяет совершенствовать технологию производства теплоты с учётом интересов и энергоисточника, и ведомственных служб, ответственных за эксплуатацию сетей. В порядке примеров можно упомянуть два основных требования, к режиму работы ЦТП. Первое – это создание условий для повышения, положим, выработки электроэнергии на тепловом потреблении энергоисточником типа ТЭЦ, который заинтересован в пониженном уровне температуры обратной сетевой воды. Второе – это удовлетворение заинтересованности Служб теплосетей: одновременное снижение и температур теплоносителей (в целях снижения теплотерь), и массовой циркуляции воды в сети.

На рис. 9.2 показана принципиальная схема системы теплоснабжения на участке ЦТП-потребитель. Она признана традиционной, наиболее часто используется в системах теплоснабжения больших городов и хорошо зарекомендовала себя в условиях эксплуатации. На рис 9.3а, 9.3б даны выкопировки из рабочих файлов ЦТП-3 и Идр1-2, которые путём многовариантных расчётов (с построением графиков и организацией факторного анализа) позволяют оптимизировать систему теплоснабжения, схема которой приведена на рис. 9.2.

На рис. 9.2 и 9.3а,б показана система теплоснабжения однотипной группы отапливаемых зданий от ЦТП. Температура прямой водопроводной воды для горячего водоснабжения и сетевой для отопления на выходе из ЦТП для всех домов одинакова: $t_{ГЦНд}^п = t_{ГЦ}^п$, $t_{ОЦНд}^п = t_{ОЦ}^п$. Температура обратной воды на входе в ЦТП $t_{ГЦ}^о$ и $t_{ОЦ}^о$ оказывается среднемассовой по всем зданиям региона, каждое из которых имеет выходные температуры $t_{ГЦНд}^о$ и $t_{ОЦНд}^о$ с учетом теплотерь в теплопроводах.

Изучить закономерности теплотребления каждого здания и ЦТП в условиях эксплуатации достаточно сложно. Как уже отмечалось, здесь целесообразно прибегнуть к математическому моделированию процессов тепло-

снабжения исследуемых объектов на компьютере с целью последующего изучения соответствующих закономерностей. В качестве теплотехнической характеристики исследуемого объекта (теплообменника) [63] предлагается использовать комплекс, представляющий собой произведение коэффициента теплопередачи ($K_{об}$) на поверхность $F_{об}$ теплообмена: $\Pi_{об} = K_{об} F_{об}$. Здесь $K_{об}$ – осреднённый (условный) коэффициент теплопередачи через некоторую виртуальную поверхность $F_{об}$ исследуемого объекта. В сущности, показатель $\Pi_{об}$ представляет собой поток теплоты через поверхность объекта при

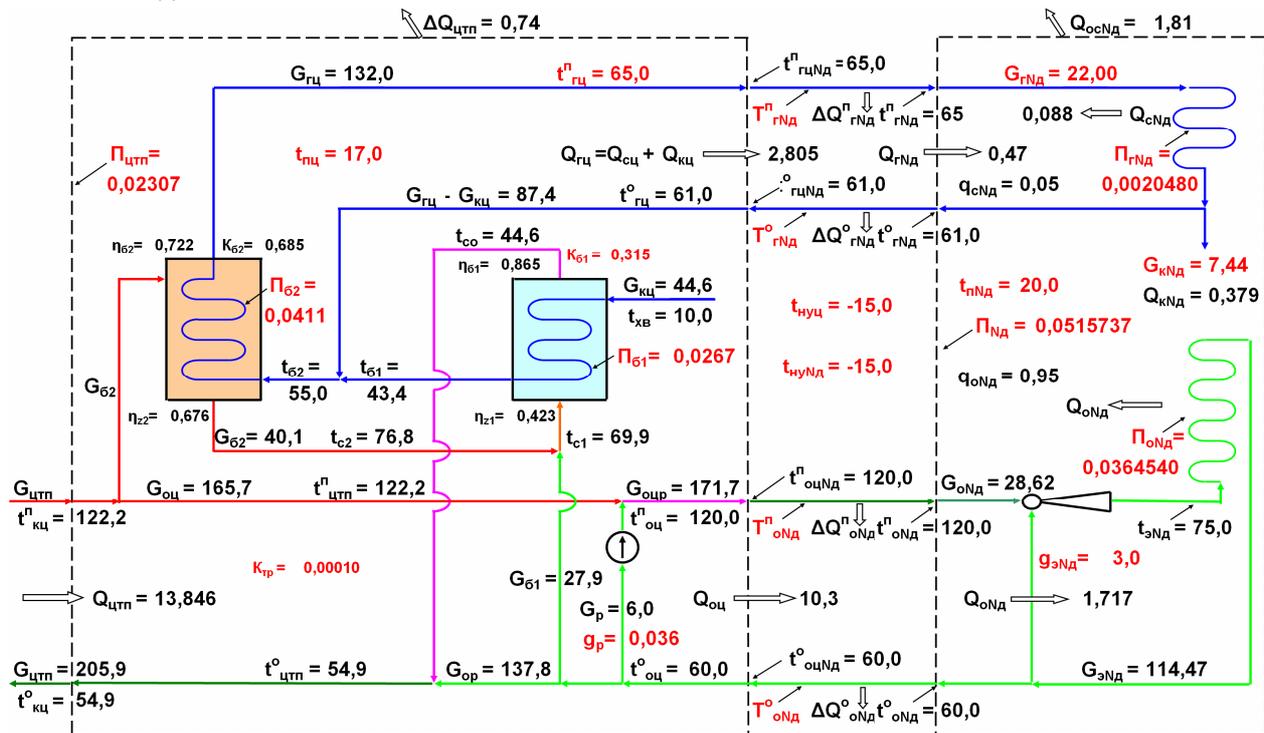


Рис. 9.2. Теплоснабжение потребителей с вариантом ЦТП по зависимой схеме. перепаде температур в 1 градус. Применительно к ЦТП характерны три таких показателя (рис. 9.2, 9.3а): $\Pi_{б1}$ и $\Pi_{б2}$ для бойлеров 1-ой и 2-ой ступеней, а также для помещения ЦТП в целом – $\Pi_{цтп}$. Аналогично для каждого здания (рис. 9.2, 9.3а,б) характерны семь таких комплексов. Два из них – для отопительных приборов, например, сушил по линии горячего водоснабжения здания – $\Pi_{гнд}$ и для приборов по отоплению зданий сетевой водой – $\Pi_{онд}$, например, радиаторов. Третий комплекс – $\Pi_{нд}$ характеризует теплотери здания в целом. Четыре остальных комплекса (обозначим их символом T_i) характеризуют уровень теплотери в прямых и обратных трубопроводах между ЦТП и домами: по горячему водоснабжению – $T_{гнд}^п$ и $T_{гнд}^о$ и отоплению – $T_{онд}^п$ и $T_{онд}^о$. Считаем, что теплотери через ограждающие поверхности ЦТП ($\Delta Q_{цтп}$) складываются из трех составляющих: теплотери $\Delta Q_{б1}$, $\Delta Q_{б2}$ – через наружную изоляцию обоих теплообменников и теплотери $\Delta Q_{тр}$ через изоляцию теплопроводов (в пределах самого помещения ЦТП) прямой и обратной сетевой воды, т. е.

$$\Delta Q_{\text{ЦТП}} = \Delta Q_{\text{б1}} + \Delta Q_{\text{б2}} + \Delta Q_{\text{Тр}} \quad (9.15)$$

Применительно к объектам теплоснабжения, в частности, к жилым домам аналогично считаем, что теплотери через оградительные стены зданий определяются двумя составляющими: затратой теплоты на отопительные приборы горячего водоснабжения $Q_{\text{сНд}}$ (т. е. сушила безучёта потерь теплоты $Q_{\text{кНд}}$ со сливной водой в количестве $G_{\text{кНд}}$) и затратой теплоты на отопление $Q_{\text{оНд}}$, т. е.

$$Q_{\text{осНд}} = Q_{\text{оНд}} + Q_{\text{сНд}}. \quad (9.16)$$

ЦТП-3		Разр. д.т.н. Байрашевский Б. А.,		Анализ (расчёт) режимов работы ЦТП, отепляющего район жилых зданий. Вевсия 3.									
Сохранить		Скопировать		Удал. из нак.		Удал. из буф.						Сохранить модель	
$t_{\text{оНд}}^{\text{н}} = t_{\text{оНд}}^{\text{н}}$		х		←		←		Планируемые (исходные) показатели.				Восстановить модель	
$t_{\text{г.и}}^{\text{н}} = t_{\text{г.и}}^{\text{н}}$		х		←		←		Скорректированные значения показателей.					
1. Результаты анализа										$\delta_{\text{о}}, \% =$		2,Е-07	
Обозн.	$G_{\text{цтп}}$	$G_{\text{оц}}$	$G_{\text{оцр}}$	$G_{\text{г.и}}$	$G_{\text{к.и}}$	$G_{\text{б1о}}$	$G_{\text{б1}}$	$G_{\text{б2}}$	$G_{\text{б2о}}$	$G_{\text{р}}$	$G_{\text{р}}$	$G_{\text{ор}}$	
Вар.1	350,00	332,25	498,38	90,00	30,00		16,20	17,75		0,500	166,13	316,06	
Вар.2	350,00	285,81	428,71	90,00	30,00		285,81	64,19		0,500	142,90	0,00	
Разм.	т/ч	т/ч	т/ч	т/ч	т/ч		т/ч	т/ч		т/ч	т/ч	т/ч	
2. Результаты анализа										$\delta_{\text{с}}, \% =$		3,Е-08	
Обозн.	$t_{\text{к.и}}^{\text{н}}$	$t_{\text{к.и}}^{\text{о}}$	$\Delta t_{\text{тр}}^{\text{н}}$	$t_{\text{цтп}}^{\text{н}}$	$t_{\text{цтп}}^{\text{о}}$	$t_{\text{оНд}}^{\text{н}}$	$t_{\text{оНд}}^{\text{о}}$	$t_{\text{г.и}}^{\text{н}}$	$t_{\text{г.и}}^{\text{о}}$	$t_{\text{с.о}}$	$t_{\text{с.1}}$	$t_{\text{с.2}}$	
Вар.1	115,00	37,15	6Е-05	115,0	37,15	90,0	40,0	65,0	61,0	10,6	50,1	59,2	
Вар.2	115,00	47,10	6Е-05	115,0	47,10	90,0	40,0	65,0	61,0	47,1	49,9	93,8	
Разм.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	
3. Результаты анализа										Условия достов.: $0 \leq \eta \leq 1$			
Обозн.	$t_{\text{б1}}$	$t_{\text{б2}}$	$t_{\text{кв}}$	$t_{\text{п.и}}$	$t_{\text{нв.и}}$	$K_{\text{тр}}$	$\Delta t_{\text{б1}}$	$\Delta t_{\text{б2}}$	$\eta_{\text{з1}}$	$\eta_{\text{з2}}$	$\eta_{\text{б1}}$	$\eta_{\text{б2}}$	
Вар.1	50,1	57,4	10,0	17,0	-5,0	0,0001	0,28	19,1	0,9858	0,9673	0,8965	0,6955	
Вар.2	37,8	53,3	10,0	17,0	-5,0	0,0001	22,7	45,2	0,0696	0,3426	0,8573	0,7781	
Разм.	град.	град.	град.	град.	град.	-	град.	град.	-	-	-	-	
4. Результаты анализа													
Обозн.	Z_1	Z_2	$\Delta Q_{\text{тр}}$	$K_{\text{б1}}$	$\Delta Q_{\text{б1}}$	$K_{\text{б2}}$	$P_{\text{б1}}$	$P_{\text{б2}}$	$P_{\text{цтп}}$				
Вар.1	0,4549	0,864	0,000	0,3152	0,139	0,6847	0,030000000	0,040000000	0,020000000				
Вар.2	0,0532	0,406	0,000	0,3152	0,139	0,6847	0,030000000	0,040000000	0,020000000				
Разм.	-	-	Гкал/ч	-	Гкал/ч	-	Гкал/(ч*град)	Гкал/(ч*град)	Гкал/(ч*град)				
5. Результаты анализа													
Обозн.	$\Delta Q_{\text{б2}}$	$\Delta Q_{\text{цтп}}$	$Q_{\text{б1}}^{\text{бр}}$	$Q_{\text{б1}}^{\text{нет}}$	$Q_{\text{б2}}^{\text{бр}}$	$Q_{\text{б2}}^{\text{нет}}$	$Q_{\text{цтп}}^{\text{бр}}$	$Q_{\text{цтп}}^{\text{нет}}$	$Q_{\text{оНд}}^{\text{бр}}$	$Q_{\text{г.и}}^{\text{бр}}$	$\eta_{\text{цтп}}^{\text{III}}$	$\eta_{\text{цтп}}^{\text{зд}}$	
Вар.1	0,301	0,440	1,340	1,202	0,990	0,688	27,249	26,809	24,919	2,190	98,40	98,39	
Вар.2	0,301	0,440	0,972	0,833	1,358	1,057	23,765	23,325	21,435	2,190	98,17	98,15	
Разм.	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	%	%	

Рис. 9.3а. Фрагмент из программного файла «ЦТП-3» по расчёту ЦТП, работающего по зависимой схеме теплоснабжения (рис. 9.2).

Комплексы Π_i и T_i относятся к показателям, которые в определённой мере характеризуют энергосберегающие способности зданий и теплопроводов. Следовательно, модельные исследования ЦТП и объектов теплоснабжения необходимо выполнять в двух направлениях. Одного по их вычислению на основании доступных к измерениям опытных данных, второго – по исследованию и оптимизации режимов теплоснабжения на основе выявленных комплексов Π_i и T_i . На данном этапе решения поставленной задачи считаем, что в известных диапазонах температур наружного воздуха комплексы Π_i и T_i постоянны, что позволяет разработать соответствующие программы расчётов.

Массовые и температурные показатели системы теплоснабжения (ЦТП и домов) определяются на основании известных уравнений теплопередачи, теплового и материального балансов как в одной, так и во второй програм-

мах. В результате решения ниже дан перечень полученных формул для вычисления показателей, приведенных на схемах (рис.9.2) и в расчётных таблицах (рис. 9.3а,б) программных файлов ЦТП-3 и Идр1-2. Расчёт ряда одних и тех же показателей представлен в виде разных функций, отличающихся аргументами. Это позволяет использовать приведенные формулы при создании программ с разными постановками задач и соответствующими изменениями перечней исходных данных.

Идр1-2 Разр. д.т.н. Байрашевский Б. А. Анализ (расчёт) режимов работы системы теплоснабжения жилого дома, входящего в регион ЦТП

Вариант 1.

$\delta_o, \% =$	2E-07	GoNo	X	←	Планируемые (исходные) показатели.
$\delta_c, \% =$	2E-08	GoNc	X	←	Расчётные (скорректированные) значения показателей.
Сохранить		Скопировать		Уд. из накоп. 1.Результаты анализа Уд. из буфера	

Обозн.	$G_{oNд}$	$G_{гNд}$	$G_{кNд}$	$t_{оuNд}^п$	$t_{оNд}^п$	$t_{эNд}$	$t_{оNд}^о$	$t_{оuNд}^о$	$t_{гuNд}^п$	$t_{гNд}^п$	$t_{гNд}^о$	$t_{гuNд}^о$
Вар.1	23,8	25,00	7,44	110,0	107,4	99,7	48,6	47,0	66,0	65,1	61,6	52,2
Вар.2	49,9	25,00	7,44	90,0	89,0	80,0	61,0	60,0	66,0	65,1	61,6	52,2
Разм.	т/ч	т/ч	т/ч	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.

Сохранить модель 2.Результаты анализа. Восстановить модель

Обозн.	$t_{хв}$	$t_{пNд}$	$t_{нуNд}$	$t_{окоNд}$	$t_{окгNд}$	$g_{эNд}$	$G_{эNд}$	$Q_{оNд}$	$q_{оNд}$	$Q_{сNд}$	$q_{сNд}$	$Q_{осNд}$
Вар.1	10,0	20,0	-15,0	5,0	4,0	0,150	27,35	1,399	0,940	0,089	0,060	1,488
Вар.2	10,0	20,0	-15,0	5,0	4,0	0,474	73,56	1,399	0,940	0,089	0,060	1,488
Разм.	град.	град.	град.	град.	град.	-	т/ч	Гкал/ч	-	Гкал/ч	-	Гкал/ч

3.Результаты анализа.

Обозн.	$Q_{гNд}$	$Q_{кNд}$	$Q_{Nд}$	$T_{оNд}^п$	$\Delta Q_{оNд}^п$	$T_{оNд}^о$	$\Delta Q_{оNд}^о$	$T_{гNд}^п$	$\Delta Q_{гNд}^п$
Вар.1	0,472	0,384	1,872	0,0005917160	0,061	0,0009009009	0,039	0,0003577236	0,022
Вар.2	0,472	0,384	1,872	0,0005917160	0,050	0,0009009009	0,050	0,0003577236	0,022
Разм.	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/(ч*град)	Гкал/ч	Гкал/(ч*град)	Гкал/ч	Гкал/(ч*град)	Гкал/ч

4.Результаты анализа.

Обозн.	$T_{гNд}^о$	$\Delta Q_{гNд}^о$	$\Delta Q_{ог}$	$Q_{uNд}$	$q_{ог}$	$P_{оNд}$	$P_{гNд}$	$P_{Nд}$
Вар.1	0,0031099029	0,164	0,286	2,158	13,27	0,0280569207	0,0020479893	0,0425142857
Вар.2	0,0031099029	0,164	0,286	2,158	13,27	0,0280569207	0,0020479893	0,0425142857
Разм.	Гкал/(ч*град)	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	%	Гкал/(ч*град)	Гкал/(ч*град)	Гкал/(ч*град)

Рис. 9.3б. Фрагмент из программного файла «Идр1-2» по расчёту традиционной системы теплоснабжения жилого дома (рис. 9.2).

Ниже определим показатели, используемые в качестве исходных данных и вычисляемые с помощью рекомендуемых к практическому применению упомянутых программных средств применительно у ЦТП.

9.3.1. Исходные данные по расчёту показателей ЦТП.

(см. рис.9.2, 9.3а).

$G_{цтп}$ – массовый расход прямой сетевой воды, подаваемой в ЦТП;

$G_{гц}$ – массовый расход прямой (водопроводной) воды, нагретой в бойлерах ЦТП для горячего водоснабжения региона;

$G_{кц}$ – массовый расход водопроводной воды, подаваемой в 1-ую ступень бойлера для восполнения потерь за счёт открытого водоразбора;

$t_{кц}^п$ – температура прямой сетевой воды, подаваемой в ЦТП;

$t_{оц}^п$ – температура прямой сетевой воды на выходе из ЦТП, в систему отопления потребителей;

$t_{оц}^о$ – температура обратной сетевой воды, возвращаемой от потребителей на вход в ЦТП;

$t_{ГЦ}^п$ – температура прямой воды на выходе из бойлера горячего водоснабжения и подаваемая потребителям от ЦТП;

$t_{ГЦ}^о$ – температура обратной воды горячего водоснабжения, возвращаемой от потребителей на вход в ЦТП;

$t_{ХВ}$ – температура холодной воды из водопровода на входе в бойлер 1-ой ступени;

$t_{пц}$ – температура воздуха в помещении ЦТП;

$t_{нуц}$ – температура наружного воздуха в зоне расположения ЦТП;

$K_{тр}$ – доля теплоты от суммарного показателя потерь $\Delta Q_{ЦТП}$ за счёт тепловыделений на поверхностях теплопроводов в помещении ЦТП;

$K_{б1}$ – доля теплоты от суммарного показателя потерь $\Delta Q_{ЦТП}$ за счёт тепловыделений на поверхности бойлера 1-ой ступени;

$П_{б1}$ – поток теплоты в окружающую среду через виртуальную поверхность бойлера 1-ой ступени при перепаде температур в 1 градус;

$П_{б2}$ – поток теплоты в окружающую среду через виртуальную поверхность бойлера 2-ой ступени при перепаде температур в 1 градус;

$П_{ЦТП}$ – поток теплоты в окружающую среду через виртуальную поверхность ограждения ЦТП при перепаде температур в 1 градус.

9.3.2. Результаты расчёта показателей режимов работы ЦТП.

(см. рис.9.2, 9.3а).

Массовый расход прямой сетевой воды, подаваемой на отопление региона из здания ЦТП после ввода потока рециркуляции G_p :

$$G_{оцр} = G_{оц} (1 + g_p) = (G_{ЦТП} - G_{б2}), \quad (9.17)$$

где доля рециркуляции G_p обратной сетевой воды по отношению к суммарному потоку $G_{оц}$ равна:

$$g_p = \frac{G_p}{G_{оц}} = \frac{t_{кц}^п - t_{оц}^п - \Delta t_{тр}^{по}}{t_{оц}^п - t_{оц}^о} = \frac{t_{ЦТП}^п - t_{оц}^п}{t_{оц}^п - t_{оц}^о}. \quad (9.18)$$

Соответственно

$$G_{оц} = G_{ЦТП} - G_{б2}. \quad (9.19)$$

Массовый расход обратной сетевой воды в пределах ЦТП после отбора потока рециркуляции G_p в условиях эксплуатации, как правило, шайбируется с целью снижения температуры обратной сетевой воды, охлаждаемой частично в первом бойлере холодной ступени:

$$G_{ор} = G_{оц} - G_{б1}. \quad (9.20)$$

Связь между расходами водопроводной воды $G_{ГЦ}$ и $G_{кц}$ имеет вид:

$$G_{кц} = G_{ГЦ} (t_{б2} - t_{ГЦ}^о) (t_{б1} - t_{ГЦ}^о)^{-1}. \quad (9.21)$$

Массовые потоки $G_{\delta 1}$ и $G_{\delta 2}$ в зависимости от постановки задачи вычисляются так:

$$G_{\delta 1} = \frac{G_{\text{ЦТП}}(t_{\text{ЦТП}}^0 - t_{\text{оц}}^0)(t_{c2} - t_{c1})}{(t_{c0} - t_{\text{оц}}^0)(t_{c2} - t_{\text{оц}}^0)}, \quad (9.22)$$

$$G_{\delta 2} = \frac{G_{\text{ЦТП}}(t_{\text{ЦТП}}^0 - t_{\text{оц}}^0)(t_{c1} - t_{\text{оц}}^0)}{(t_{c0} - t_{\text{оц}}^0)(t_{c2} - t_{\text{оц}}^0)}. \quad (9.23)$$

При соответствующих граничных условиях значения потоков $G_{\delta 1}$ и $G_{\delta 2}$ можно вычислять на основании одного из уравнений:

$$G_{\delta 2} = \frac{G_{\delta 1}(t_{c1} - t_{\text{оц}}^0)}{t_{c2} - t_{c1}}, \quad (9.24a)$$

$$G_{\text{кц}}(t_{\delta 1} - t_{\text{хв}}) + K_{\delta 1} \Delta Q_{\text{ЦТП}} c^{-1} = (G_{\delta 1} + G_{\delta 2})(t_{c1} - t_{c0}). \quad (9.24b)$$

Температура обратной сетевой воды на выходе из ЦТП:

$$t_{\text{кц}}^0 = t_{\text{ЦТП}}^0 - \Delta t_{\text{тр}}^{\text{по}}, \quad (9.25)$$

где снижение температуры прямой и обратной сетевой воды в пределах ЦТП за счёт теплоотдачи от поверхностей теплопроводов в окружающую среду определим так:

$$\Delta t_{\text{тр}}^{\text{по}} = t_{\text{кц}}^{\text{п}} - t_{\text{ЦТП}}^{\text{п}} = 0,5 K_{\text{тр}} \Delta Q_{\text{ЦТП}} (c G_{\text{ЦТП}})^{-1}. \quad (9.26)$$

Температура прямой сетевой воды в пределах ЦТП до смешения с потоком рециркуляции G_p :

$$t_{\text{ЦТП}}^{\text{п}} = (1 + g_p) t_{\text{оц}}^{\text{п}} - g_p t_{\text{оц}}^0 = t_{\text{кц}}^{\text{п}} - \Delta t_{\text{тр}}^{\text{по}} \quad (9.27)$$

Температура обратной сетевой воды в пределах ЦТП после смешения с потоком на выходе из бойлера 1-ой ступени:

$$t_{\text{ЦТП}}^0 = t_{\text{кц}}^0 + \Delta t_{\text{тр}}^{\text{по}} = [(G_{\delta 1} + G_{\delta 2}) t_{c0} + (G_{\text{ЦТП}} - G_{\delta 1} - G_{\delta 2}) t_{\text{оц}}^0] G_{\text{ЦТП}}^{-1}. \quad (9.28)$$

Температура сетевой воды на выходе из бойлера 1-ой ступени:

$$t_{c0} = \left. \begin{aligned} & [G_{\delta 1} t_{\text{оц}}^0 + G_{\delta 2} t_{\text{ЦТП}}^{\text{п}} + G_{\text{кц}}(t_{\text{хв}} - t_{\text{гц}}^0) + G_{\text{гц}}(t_{\text{гц}}^0 - t_{\text{гц}}^{\text{п}}) + \\ & + \Pi_{\text{ЦТП}}(t_{\text{нуц}} - t_{\text{пц}})(1 - K_{\text{тр}}) c^{-1}] (G_{\delta 1} + G_{\delta 2})^{-1} = \\ & = (G_{\delta 1} + G_{\delta 2})^{-1} G_{\text{ЦТП}}(t_{\text{ЦТП}}^0 - t_{\text{оц}}^0) + t_{\text{оц}}^0. \end{aligned} \right\} \quad (9.29)$$

Температура сетевой воды на входе в бойлер 1-ой ступени:

$$t_{c1} = \frac{B_{11} - t_{c0}}{B_9 - 1} = (G_{\delta 1} t_{\text{оц}}^0 + G_{\delta 2} t_{c2}) (G_{\delta 1} + G_{\delta 2})^{-1}. \quad (9.30)$$

Температура сетевой воды на выходе из бойлера 2-ой ступени:

$$t_{c2} = [(G_{\delta 1} + G_{\delta 2}) t_{c1} - G_{\delta 1} t_{\text{оц}}^0] G_{\delta 2}^{-1}. \quad (9.31)$$

Температура подогрева водопроводной воды в бойлере 1-ой ступени:

$$t_{61} = [G_{\Gamma\Gamma} t_{62} - (G_{\Gamma\Gamma} - G_{\text{кц}}) t_{\Gamma\Gamma}^0] G_{\text{кц}}^{-1}. \quad (9.32)$$

Температура водопроводной воды на входе в бойлер 2-ой ступени:

$$t_{c2} = (B_6 + t_{c2}) B_4^{-1}. \quad (9.33)$$

В уравнениях (9.30) – (9.33):

$$\begin{aligned} B_{11} &= B_{10} + t_{\text{хв}} B_9; \quad B_{10} = \Delta Q_{61} B_7 B_8^{-1}; \quad B_9 = (1 - E_1) B_8^{-1}; \quad B_8 = 1 - E_1 W_{11} W_{21}^{-1}; \\ B_7 &= (W_{21}^{-1} + \Pi_{61}^{-1}) E_1 - \Pi_{61}^{-1}; \quad B_6 = t_{\text{цтп}}^{\Pi} (B_4 - 1) - B_5; \quad B_5 = \Delta Q_{62} B_2 B_3^{-1}; \\ B_4 &= (1 - E_2) B_3^{-1}; \quad B_2 = (W_{22}^{-1} + \Pi_{62}^{-1}) E_2 - \Pi_{62}^{-1} \end{aligned}$$

Доля теплоты, формирующая теплопотери здания $\Delta Q_{\text{цтп}}$ за счёт тепловыделений на поверхностях теплопроводов в помещении ЦТП:

$$K_{\text{тп}} = 1 - K_{61} - K_{62}. \quad (9.34)$$

Доля теплоты от суммарного показателя потерь $\Delta Q_{\text{цтп}}$ за счёт тепловыделений на поверхности бойлера 1-ой ступени:

$$\begin{aligned} K_{61} &= \Delta Q_{61} \Delta Q_{\text{цтп}}^{-1} = c G_{\text{кц}} (t_{61} - t_{\text{хв}}) (\eta_{61}^{-1} - 1) \Delta Q_{\text{цтп}}^{-1} = \\ &= c [(G_{61} + G_{62}) (t_{c1} - t_{c0}) - G_{\text{кц}} (t_{61} - t_{\text{хв}})] \Delta Q_{\text{цтп}}^{-1}. \end{aligned} \quad (9.35)$$

Доля теплоты от суммарного показателя потерь $\Delta Q_{\text{цтп}}$ за счёт тепловыделений на поверхности бойлера 2-ой ступени;

$$\begin{aligned} K_{62} &= \Delta Q_{62} \Delta Q_{\text{цтп}}^{-1} = c G_{\Gamma\Gamma} (t_{\Gamma\Gamma}^{\Pi} - t_{62}) (\eta_{62}^{-1} - 1) \Delta Q_{\text{цтп}}^{-1} = \\ &= c [G_{62} (t_{\text{цтп}}^{\Pi} - t_{c2}) - G_{\Gamma\Gamma} (t_{\Gamma\Gamma}^{\Pi} - t_{62})] \Delta Q_{\text{цтп}}^{-1}. \end{aligned} \quad (9.36)$$

Среднеинтегральный температурный напор между двумя теплоносителями на участке от входа до выхода в 1-ой ступени бойлера (с учётом теплопотерь в окружающую среду):

$$\Delta \tau_{61} = -\Delta Q_{61} \Pi_{61}^{-1} + (t_{c1} - t_{61} + \Delta Q_{61} \Pi_{61}^{-1}) \left(\frac{R_1}{L_1} - 1 \right) \ln^{-1} \frac{R_1}{L_1}. \quad (9.37)$$

Среднеинтегральный температурный напор между теплоносителями на участке от входа до выхода во 2-ой ступени бойлера (с учётом теплопотерь в окружающую среду):

$$\Delta \tau_{62} = -\Delta Q_{62} \Pi_{62}^{-1} + (t_{\text{цтп}}^{\Pi} - t_{\Gamma\Gamma}^{\Pi} + \Delta Q_{62} \Pi_{62}^{-1}) \left(\frac{R_2}{L_2} - 1 \right) \ln^{-1} \frac{R_2}{L_2}. \quad (9.38)$$

Вспомогательные функции:

$$\begin{aligned} R_1 &= \Pi_{61} (t_{c0} - t_{\text{хв}}) + \Delta Q_{61}, \\ R_2 &= \Pi_{62} (t_{c2} - t_{62}) + \Delta Q_{62}, \\ L_1 &= \Pi_{61} (t_{c1} - t_{61}) + \Delta Q_{61}, \\ L_2 &= \Pi_{62} (t_{\text{цтп}}^{\Pi} - t_{\Gamma\Gamma}^{\Pi}) + \Delta Q_{62}, \\ E_1 &= \exp(-m_1 \Pi_{61}), \end{aligned}$$

$$E_2 = \exp(-m_2 \Pi_{62}),$$

$$m_1 = W_{11}^{-1} - W_{21}^{-1} = c^{-1}[(G_{61} + G_{62})^{-1} - G_{кц}^{-1}],$$

$$m_2 = W_{12}^{-1} - W_{22}^{-1} = c^{-1}[G_{62}]^{-1} - G_{гц}^{-1}].$$

Коэффициент использования максимального температурного напора в бойлере 1-ой ступени с противоточным движением теплоносителей:

$$\eta_{z1} = \frac{t_{c1} - t_{co}}{t_{c1} - t_{xb}} = \frac{1 - E_1 - R_{z1}}{1 - (G_{61} + G_{62})G_{кц}^{-1} E_1} = Z_1 - \frac{R_{z1}}{1 - (G_{61} + G_{62})G_{кц}^{-1} E_1} = \left. \begin{aligned} &= \frac{1 - E_1 - \Delta Q_{61}[(W_{21}^{-1} + \Pi_{61}^{-1})E_1 - \Pi_{61}^{-1}](t_{c1} - t_{xb})^{-1}}{1 - E_1 W_{11} W_{21}^{-1}} \end{aligned} \right\} (9.39)$$

Коэффициент использования максимального температурного напора в бойлере 2-ой ступени с противоточным движением теплоносителей:

$$\eta_{z2} = \frac{t_{цтп}^{\Pi} - t_{c2}}{t_{цтп}^{\Pi} - t_{62}} = \frac{1 - E_2 - R_{z2}}{1 - G_{62} G_{гц}^{-1} E_2} = Z_2 - \frac{R_{z2}}{1 - G_{62} G_{гц}^{-1} E_2} = \left. \begin{aligned} &= \frac{1 - E_2 - \Delta Q_{62}[(W_{22}^{-1} + \Pi_{62}^{-1})E_2 - \Pi_{62}^{-1}](t_{c1} - t_{xb})^{-1}}{1 - E_2 W_{12} W_{22}^{-1}} \end{aligned} \right\} (9.40)$$

где:

– вспомогательные функции (с учётом теплопотерь бойлеров ΔQ_{61} и ΔQ_{62} в окружающую среду):

$$Z_1 = (1 - E_1)[1 - (G_{61} + G_{62})G_{кц}^{-1} E_1]^{-1},$$

$$Z_2 = (1 - E_2)[1 - G_{62} G_{гц}^{-1} E_2]^{-1}.$$

В случае пренебрежения теплопотерями ΔQ_{61} и ΔQ_{62} значения функций Z_1 и Z_2 равны коэффициентам использования максимального температурного напора в бойлерах η_{z1} и η_{z2} :

– вспомогательные функции, определяющие влияния реальных теплопотерь через поверхности бойлеров 1-ой и 2-ой ступеней на коэффициент использования в них максимального температурного напора:

$$R_{z1} = \frac{\Delta Q_{61} \{[(c G_{кц})^{-1} + \Pi_{61}^{-1}]E_1 - \Pi_{61}^{-1}\}}{t_{c1} - t_{xb}},$$

$$R_{z2} = \frac{\Delta Q_{62} \{[(c G_{гц})^{-1} + \Pi_{62}^{-1}]E_2 - \Pi_{62}^{-1}\}}{t_{цтп}^{\Pi} - t_{62}},$$

По данным замеров температур и массовых потоков теплоносителей трансцендентные уравнения (9.39) и (9.40) позволяют вычислять показатели Π_{61} и Π_{62} , которые при дальнейших расчётах режимов работы ЦТП используются в качестве констант.

Коэффициенты теплопотерь бойлеров 1-ой и 2-ой ступеней представляют собой отношения воспринятых нагрузок водопроводной воды в теплообменниках к тепловыделениям со стороны сетевой воды. В принципе это КПД бойлеров:

$$\eta_{\delta 1} = \frac{Q_{\delta 1}^{\text{нет}}}{Q_{\delta 1}^{\text{бр}}} = \frac{c G_{\text{кц}} (t_{\delta 1} - t_{\text{хв}})}{c G_{\text{кц}} (t_{\delta 1} - t_{\text{хв}}) + K_{\delta 1} \Delta Q_{\text{цтп}}}, \quad (9.41)$$

$$\eta_{\delta 2} = \frac{Q_{\delta 2}^{\text{нет}}}{Q_{\delta 2}^{\text{бр}}} = \frac{c G_{\text{гц}} (t_{\text{гц}}^{\text{п}} - t_{\delta 2})}{c G_{\text{гц}} (t_{\text{гц}}^{\text{п}} - t_{\delta 2}) + K_{\delta 2} \Delta Q_{\text{цтп}}}. \quad (9.42)$$

Теплопотери через ограждающие поверхности трубопроводов сетевой воды в пределах ЦТП:

$$\Delta Q_{\text{тр}} = K_{\text{тр}} \Delta Q_{\text{цтп}}. \quad (9.43)$$

Теплопотери через ограждающие поверхности бойлеров 1-ой и 2-ой ступеней в ЦТП:

$$\Delta Q_{\delta 1} = K_{\delta 1} \Delta Q_{\text{цтп}} = c [(G_{\delta 1} + G_{\delta 2})(t_{\text{с1}} - t_{\text{с0}}) - G_{\text{кц}} (t_{\delta 1} - t_{\text{хв}})], \quad (9.44)$$

$$\Delta Q_{\delta 2} = K_{\delta 2} \Delta Q_{\text{цтп}} = c [G_{\delta 2} (t_{\text{цтп}}^{\text{п}} - t_{\text{с2}}) - G_{\text{гц}} (t_{\text{гц}}^{\text{п}} - t_{\delta 2})]. \quad (9.45)$$

Теплопотери через ограждающие поверхности ЦТП рассматриваем как суммарную теплоотдачу от поверхностей бойлеров и трубопроводов сетевой воды в пределах ЦТП, т. е.

$$\left. \begin{aligned} \Delta Q_{\text{цтп}} &= \Delta Q_{\text{тр}} + \Delta Q_{\delta 1} + \Delta Q_{\delta 2} = \Pi_{\text{цтп}} (t_{\text{пц}} - t_{\text{нуц}}) = \\ &= -\frac{A_{13}}{2A_{14}} - \left[\left(\frac{A_{13}}{2A_{14}} \right)^2 - \frac{A_{15}}{A_{13}} \right]^{0,5} = Q_{\text{цтп}}^{\text{вх}} - Q_{\text{цтп}}^{\text{вых}}, \end{aligned} \right\} \quad (9.46)$$

где вспомогательные функции:

$$A_{15} = A_{12} (t_{\text{оц}}^{\text{п}} - t_{\text{оц}}^{\text{о}}) + G_{\text{гц}} (t_{\text{гц}}^{\text{п}} - t_{\text{гц}}^{\text{о}}) + G_{\text{кц}} (t_{\text{гц}}^{\text{о}} - t_{\text{хв}}) - G_{\text{цтп}} (t_{\text{кц}}^{\text{п}} - t_{\text{кц}}^{\text{о}});$$

$$A_{14} = c^{-1} + A_{11} (t_{\text{оц}}^{\text{п}} - t_{\text{оц}}^{\text{о}}); \quad A_{13} = A_{10} (t_{\text{оц}}^{\text{п}} - t_{\text{оц}}^{\text{о}}); \quad A_{12} = A_6 A_8;$$

$$A_{11} = A_6 A_9 - A_7 A_8; \quad A_{10} = -A_7 A_9; \quad A_9 = 0,5 A_4 K_{\text{тр}} c^{-1};$$

$$A_8 = G_{\text{цтп}} - A_3 A_4;$$

$$A_7 = 0,5 K_{\text{тр}} [c G_{\text{цтп}} (t_{\text{оц}}^{\text{п}} - t_{\text{оц}}^{\text{о}})]^{-1}; \quad A_6 = 1 + A_5;$$

$$A_5 = (t_{\text{кц}}^{\text{п}} - t_{\text{оц}}^{\text{о}}) (t_{\text{оц}}^{\text{п}} - t_{\text{оц}}^{\text{о}})^{-1};$$

$$A_4 = A_2 (t_{\text{с1}} - t_{\text{оц}}^{\text{о}}) (t_{\text{с2}} - t_{\text{с1}})^{-1}; \quad A_3 = G_{\text{цтп}} (t_{\text{оц}}^{\text{о}} - t_{\text{кц}}^{\text{о}});$$

$$A_2 = (t_{\text{оц}}^{\text{о}} - t_{\text{с0}})^{-1} [1 + (t_{\text{с1}} - t_{\text{оц}}^{\text{о}}) (t_{\text{с2}} - t_{\text{с1}})^{-1}]^{-1}.$$

Тепловыделения (брутто) в бойлерах 1-ой и 2-ой ступеней за счёт протока через них массовых расходов сетевой воды:

$$Q_{\delta 1}^{\text{бр}} = c (G_{\delta 1} + G_{\delta 2}) (t_{\text{с1}} - t_{\text{с0}}) = c G_{\text{кц}} (t_{\delta 1} - t_{\text{хв}}) + K_{\delta 1} \Delta Q_{\text{цтп}}, \quad (9.47)$$

$$Q_{\delta 2}^{\text{бр}} = c G_{\delta 2} (t_{\text{цтп}}^{\text{п}} - t_{\text{с}2}) = c G_{\text{гц}} (t_{\text{гц}}^{\text{п}} - t_{\delta 2}) + K_{\delta 2} \Delta Q_{\text{цтп}}. \quad (9.48)$$

Полезные тепловосприятия (нетто) потоками водопроводной воды в бойлерах 1-ой и 2-ой ступени:

$$Q_{\delta 1}^{\text{нет}} = Q_{\delta 1}^{\text{бр}} - \Delta Q_{\delta 1}, \quad (9.49)$$

$$Q_{\delta 2}^{\text{нет}} = Q_{\delta 2}^{\text{бр}} - \Delta Q_{\delta 2}. \quad (9.50)$$

Тепловая нагрузка ЦТП на отопление региона:

$$Q_{\text{оц}}^{\text{бр}} = c G_{\text{оцр}} (t_{\text{оц}}^{\text{п}} - t_{\text{оц}}^{\text{о}}). \quad (9.51)$$

Тепловая нагрузка ЦТП по горячему водоснабжению региона (включая теплотери за счёт открытого водоразбора массового потока $G_{\text{кц}}$):

$$Q_{\text{гц}}^{\text{бр}} = c [G_{\text{гц}} t_{\text{гц}}^{\text{п}} - (G_{\text{гц}} - G_{\text{кц}}) t_{\text{гц}}^{\text{о}}]. \quad (9.52)$$

Потери теплоты в регионе ЦТП за счёт открытого водоразбора $G_{\text{кц}}$, восполняемого холодной водой с температурой $t_{\text{хв}}$:

$$\Delta Q_{\text{кц}} = c G_{\text{кц}} (t_{\text{гц}}^{\text{п}} - t_{\text{хв}}). \quad (9.53)$$

Процент тепловой нагрузки региона по горячему водоснабжению в сравнении с суммарной:

$$\alpha_{\text{гв}} = \alpha_{\text{гв}} = 100 Q_{\text{гц}}^{\text{бр}} (Q_{\text{гц}}^{\text{бр}} + Q_{\text{оц}}^{\text{бр}})^{-1}. \quad (9.54)$$

В уравнении (9.46) показатель $Q_{\text{цтп}}^{\text{вх}}$ представляет собой суммарное тепловыделение (брутто) в здании ЦТП за счёт протока через него массового расхода прямой и обратной сетевой воды. В сущности это суммарная теплота, потребляемая ЦТП:

$$Q_{\text{цтп}}^{\text{бр}} = Q_{\text{цтп}}^{\text{вх}} = c G_{\text{цтп}} (t_{\text{кц}}^{\text{п}} - t_{\text{кц}}^{\text{о}}) = c G_{\text{цтп}} (t_{\text{цтп}}^{\text{п}} - t_{\text{цтп}}^{\text{о}}) + K_{\text{тр}} \Delta Q_{\text{цтп}}. \quad (9.55)$$

Суммарное полезное потребление (нетто) теплоты в здании ЦТП и последующая передача этой теплоты в регион теплоснабжения за вычетом теплотери $\Delta Q_{\text{цтп}}$ в окружающую среду выразим так:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{цтп}}^{\text{нет}} = Q_{\text{цтп}}^{\text{вых}} = Q_{\text{цтп}}^{\text{бр}} - \Delta Q_{\text{цтп}} = \\ = c [G_{\text{оцр}} (t_{\text{оц}}^{\text{п}} - t_{\text{оц}}^{\text{о}}) + G_{\text{гц}} (t_{\text{гц}}^{\text{п}} - t_{\text{гц}}^{\text{о}}) + G_{\text{кц}} (t_{\text{гц}}^{\text{о}} - t_{\text{хв}})] \end{aligned} \right\} \quad (9.56)$$

На основании (7.41)(9.55), (7.42)(9.56) определяем эффективность (КПД) здания ЦТП в плане теплотери:

$$\eta_{\text{цтп}}^{\text{зд}} = 100 Q_{\text{цтп}}^{\text{бр}} (Q_{\text{цтп}}^{\text{бр}})^{-1}. \quad (9.57)$$

Ниже определим показатели, используемые в качестве исходных данных и вычисляемые с помощью рекомендуемых к практическому применению упомянутых программных средств применительно к жилому дому.

9.3.3. Исходные данные по расчёту показателей жилого дома.

(см. рис.9.2, 9.3б).

$G_{ГНд}$ – массовый расход воды, подаваемой в систему горячего водоснабжения дома;

$G_{кНд}$ – массовый расход воды, используемой в качестве открытого водоразбора после сушильных змеевиков в подсобных помещениях дома (в ваннах, туалетных помещениях и пр.);

$t_{оцНд}^п$ – температура прямой сетевой воды на энергоисточнике (в ЦТП, в котельной и пр.) подаваемой в прямой трубопровод, ведущий к системе отопления дома;

$t_{ГцНд}^п$ – температура прямой воды на выходе из бойлера горячего водоснабжения (на энергоисточнике, в ЦТП, в котельной и пр.);

$t_{хв}$ – температура холодной добавочной воды, поступающей на бойлера для восполнения потерь;

$t_{пНд}$ – температура воздуха в помещении дома;

$t_{нуНд}$ – температура наружного воздуха;

$t_{окоНд}$ – температура окружающей среды (грунта) в прокладке отопительных теплопроводов от энергоисточника (ЦТП, котельной и пр.) к дому;

$t_{окгНд}$ – температура окружающей среды (грунта) в прокладке горячеводных теплопроводов от энергоисточника (ЦТП, котельной и пр.) к дому;

$g_{эНд}$ – коэффициент инжекции элеватора: $g_{эНд} = G_{рэНд} G_{оНд}^{-1}$;

$T_{оНд}^п$ – показатель, характеризующий теплотери прямого теплопровода в отопительной сети от энергоисточника (ЦТП, котельная и пр.) к дому, т. е. это поток теплоты через виртуальную поверхность при перепаде температур в $1\text{ }^{\circ}\text{C}$;

$T_{оНд}^о$ – показатель, характеризующий теплотери обратного теплопровода в отопительной сети к энергоисточнику (ЦТП, котельная и пр.) от дома, т. е. это поток теплоты через виртуальную поверхность при перепаде температур в $1\text{ }^{\circ}\text{C}$;

$T_{гНд}^п$ – показатель, характеризующий теплотери прямого теплопровода в горячеводной сети от энергоисточника (ЦТП, котельная и пр.) к дому, т. е. это поток теплоты через виртуальную поверхность при перепаде температур в $1\text{ }^{\circ}\text{C}$;

$T_{гНд}^о$ – показатель, характеризующий теплотери обратного теплопровода в горячеводной сети к энергоисточнику (ЦТП, котельная и пр.) от дома, т. е. это поток теплоты через виртуальную поверхность при перепаде температур в $1\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Π_{oN_d} – показатель, характеризующий отдачу теплоты от отопительных приборов дома в помещения: поток теплоты через виртуальную поверхность нагрева при перепаде температур в 1°C ;

Π_{rN_d} – показатель, характеризующий отдачу теплоты от змеевиков сушил дома в помещения: поток теплоты через виртуальную поверхность нагрева при перепаде температур в 1°C ;

Π_{N_d} – показатель, характеризующий теплопотерю здания (дома) через ограждающие поверхности: поток теплоты через виртуальную поверхность здания при перепаде температур в 1°C .

9.3.4. Результаты расчёта показателей режимов работы жилого дома.

(см. рис.9.2, 9.3б).

Массовый расход потока G_{oN_d} , подаваемый в элеватор дома, вычисляется на основании трансцендентного уравнения:

$$\left. \begin{aligned} & \exp\left(\frac{\Pi_{oN_d}}{cG_{oN_d}(1+g_{эN_d})}\right) = \\ & = \frac{[N_1^p + g_{эN_d}(N_1^p - M_1^p G_{oN_d}^{-1})](1+g_{эN_d})^{-1} - t_{пN_d}}{N_1^p - M_1^p G_{oN_d}^{-1} - t_{пN_d}}, \end{aligned} \right\} \quad (9.58)$$

где

$$N_1^p = \frac{t_{оцN_d}^п (cG_{oN_d} - 0,5T_{oN_d}^п)}{cG_{oN_d} + 0,5T_{oN_d}^п},$$

$$M_1^p = Q_{ocN_d} c^{-1} - G_{rN_d} (t_{rN_d}^п - t_{rN_d}^o).$$

Температура прямой сетевой воды на входе в систему отопления дома:

$$t_{oN_d}^п = \frac{t_{оцN_d}^п (cG_{oN_d} - 0,5T_{oN_d}^п) + T_{oN_d}^п t_{окоN_d}}{cG_{oN_d} + 0,5T_{oN_d}^п}. \quad (9.59)$$

Температура прямой сетевой воды на входе в отопительные приборы (радиаторы) дома:

$$t_{эN_d} = (t_{oN_d}^п + g_{эN_d} t_{oN_d}^o) (1 + g_{эN_d})^{-1}. \quad (9.60)$$

Температура обратной сетевой воды на выходе из отопительных приборов (радиаторов) дома:

$$t_{oN_d}^o = N_1^p - [Q_{ocN_d} c^{-1} - G_{rN_d} (t_{rN_d}^п - t_{rN_d}^o)] G_{oN_d}^{-1}. \quad (9.61)$$

Температура обратной сетевой воды в конце трубопровода, поступающего в теплоисточник (в ЦТП, в котельную или сборный коллектор и пр.), т. е. обратной сетевой воды из системы отопления дома, охлаждённой за счёт теплопотерь на данном участке:

$$t_{оцN_d}^o = \frac{t_{oN_d}^o (cG_{oN_d} - 0,5T_{oN_d}^o)}{cG_{oN_d} + 0,5T_{oN_d}^o}. \quad (9.62)$$

Температура прямой водопроводной воды на входе в систему горячего водоснабжения дома:

$$t_{\Gamma N_d}^{\Pi} = \frac{t_{\Gamma \Pi N_d}^{\Pi} (c G_{\Gamma N_d} - 0,5 T_{\Gamma N_d}^{\Pi})}{c G_{\Gamma N_d} + 0,5 T_{\Gamma N_d}^{\Pi}}, \quad (9.63)$$

Температура обратной воды на выходе из системы горячего водоснабжения дома в сорону теплоисточника (ЦТП, в котельная и пр.):

$$t_{\Gamma N_d}^{\circ} = t_{\Pi N_d} + \frac{t_{\Gamma N_d}^{\Pi} - t_{\Pi N_d}}{\exp[\Pi_{\Gamma N_d} (c G_{\Gamma N_d})^{-1}]}. \quad (9.64)$$

Температура обратной воды из системы горячего водоснабжения дома на входе в (ЦТП, в котельную и пр.):

$$t_{\Gamma \Pi N_d}^{\circ} = \frac{t_{\Gamma N_d}^{\circ} [c (G_{\Gamma N_d} - G_{\kappa N_d}) - 0,5 T_{\Gamma N_d}^{\circ}] + T_{\Gamma N_d}^{\circ} t_{\text{окг}N_d}}{c (G_{\Gamma N_d} - G_{\kappa N_d}) + 0,5 T_{\Gamma N_d}^{\circ}}. \quad (9.65)$$

Коэффициент инжекции элеватора:

$$g_{\text{э}N_d} = G_{\text{рэ}N_d} G_{\text{о}N_d}^{-1}. \quad (9.66)$$

Массовый расход сетевой воды, циркулирующей через систему отопительных приборов (радиаторов) дома:

$$G_{\text{э}N_d} = G_{\text{о}N_d} (1 + g_{\text{э}N_d}). \quad (9.67)$$

Отопительную нагрузку дома и тепловыделение сушильных змеевиков за счёт потока воды на горячее водоснабжение определим так:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{о}N_d} &= c G_{\text{о}N_d} (t_{\text{о}N_d}^{\Pi} - t_{\text{о}N_d}^{\circ}) = c G_{\text{о}N_d}^{\text{д}} (t_{\text{о}N_d}^{\Pi} - t_{\text{о}N_d}^{\text{од}}) = \\ &= c G_{\text{э}N_d} (t_{\text{э}N_d} - t_{\text{о}N_d}^{\circ}) = \Pi_{\text{о}N_d} \Delta\tau_{\text{о}N_d}, \end{aligned} \right\} \quad (9.68)$$

$$Q_{\text{с}N_d} = c G_{\Gamma N_d} (t_{\Gamma N_d}^{\Pi} - t_{\Gamma N_d}^{\circ}) = \Pi_{\Gamma N_d} \Delta\tau_{\Gamma N_d}. \quad (9.69)$$

где логарифмические температурные напоры между окружающим воздухом в помещении и рабочими потоками воды в нагревательных приборах отопления и горячего водоснабжения равны:

$$\Delta\tau_{\text{о}N_d} = (\Delta t_{\text{о}N_d}^{\bar{\circ}} - \Delta t_{\text{о}N_d}^{\text{м}}) \ln^{-1} (\Delta t_{\text{о}N_d}^{\bar{\circ}} / \Delta t_{\text{о}N_d}^{\text{м}}). \quad (9.70)$$

$$\Delta\tau_{\Gamma N_d} = (\Delta t_{\Gamma N_d}^{\bar{\circ}} - \Delta t_{\Gamma N_d}^{\text{м}}) \ln^{-1} (\Delta t_{\Gamma N_d}^{\bar{\circ}} / \Delta t_{\Gamma N_d}^{\text{м}}), \quad (9.71)$$

В уравнениях (9.70), (9.71):

$$\Delta t_{\text{о}N_d}^{\bar{\circ}} = t_{\text{э}N_d} - t_{\Pi N_d},$$

$$\Delta t_{\text{о}N_d}^{\text{м}} = t_{\text{о}N_d}^{\circ} - t_{\Pi N_d},$$

$$\Delta t_{\Gamma N_d}^{\bar{\circ}} = t_{\Gamma N_d}^{\Pi} - t_{\Pi N_d},$$

$$\Delta t_{\Gamma N_d}^{\text{м}} = t_{\Gamma N_d}^{\circ} - t_{\Pi N_d}$$

Доля теплоты от суммарной $Q_{\text{ос}N_d}$, выделяемой в доме за счёт отопительных приборов (радиаторов):

$$q_{\text{о}N_d} = Q_{\text{о}N_d} Q_{\text{ос}N_d}^{-1}. \quad (9.72)$$

Доля теплоты от суммарной Q_{ocN_d} , выделяемой в доме за счёт теплоты в сушильных змеевиках горячего водоснабжения:

$$q_{cN_d} = 1 - q_{cN_d}. \quad (9.73)$$

Суммарное тепловыделение в доме за счёт отопительных приборов и сушильных змеевиков. Эта же теплота рассматривается как суммарная теплотопотеря здания (дома) через его ограждающие поверхности:

$$Q_{ocN_d} = Q_{oN_d} + Q_{cN_d} = \Pi_{N_d} (t_{пN_d} - t_{нyN_d}). \quad (9.74)$$

Суммарная тепловая нагрузка дома по горячему водоснабжению:

$$Q_{гN_d} = Q_{cN_d} + Q_{кN_d}. \quad (9.75)$$

Теплопотери в доме за счёт открытого водоразбора в доме (ванны, умывальники и пр.):

$$Q_{кN_d} = c G_{кN_d} (t_{гN_d}^o - t_{хв}). \quad (9.76)$$

Суммарное теплопотребление дома на отопление и горячее водоснабжение (с учётом потерь за счёт открытого водоразбора горячей воды):

$$Q_{N_d} = Q_{oN_d} + Q_{гN_d} = Q_{ocN_d} + Q_{кN_d}. \quad (9.77)$$

Суммарные теплопотери на участке отопительного теплопровода по прямой и обратной сетевой воде (в расчёте на один дом) между теплоисточником (ЦТП, котельная и пр.) и потребителем:

$$\Delta Q_{oN_d}^п = c G_{oN_d} (t_{oцN_d}^п - t_{oN_d}^п), \quad (9.78)$$

$$\Delta Q_{oN_d}^o = c G_{oN_d} (t_{oN_d}^o - t_{oцN_d}^o). \quad (9.79)$$

Суммарные теплопотери на участке горячеводного теплопровода по прямой и обратной воде (в расчёте на один дом) между теплоисточником (ЦТП, котельная и пр.) и потребителем:

$$\Delta Q_{гN_d}^п = c G_{гN_d} (t_{гцN_d}^п - t_{гN_d}^п), \quad (9.80)$$

$$\Delta Q_{гN_d}^o = c (G_{гN_d} - G_{кN_d}) (t_{гN_d}^o - t_{гцN_d}^o). \quad (9.81)$$

Суммарные теплопотери в отопительном и горячеводном теплопроводах (в расчёте на один дом) между теплоисточником (ЦТП, котельная и пр.) и потребителем:

$$\Delta Q_{ог} = \Delta Q_{oN_d}^п + \Delta Q_{oN_d}^o + \Delta Q_{гN_d}^п + \Delta Q_{гN_d}^o. \quad (9.82)$$

Суммарные затраты теплоты на теплоснабжение дома со стороны энергоисточника (ЦТП, котельной и пр.) на отопление и горячее водоснабжение с учётом теплопотерь за счёт открытого водоразбора горячей воды и теплопотерь в теплопроводах:

$$Q_{цN_d} = Q_{N_d} + \Delta Q_{ог}. \quad (9.83)$$

Относительные теплопотери в отопительных и горячеводных теплопроводах к дому в сравнении с его суммарным теплоснабжением:

$$q_{ог} = 100 \Delta Q_{ог} / Q_{цN_d}. \quad (9.84)$$

Как уже отмечалось, показатели Π_{oN_d} и Π_{rN_d} и определяются путём соответствующей обработки опытных данных. Имея в виду, что (Рис. 8.2 – 8.3а,б,в) $\Delta t_{oN_d}^{\bar{o}} = t_{\varepsilon N_d} - t_{пN_d}$, $\Delta t_{oN_d}^M = t_{oN_d}^o - t_{пN_d}$ и $\Delta t_{rN_d}^{\bar{p}} = t_{rN_d}^п - t_{пN_d}$, $\Delta t_{rN_d}^M = t_{rN_d}^o - t_{пN_d}$, на основании (9.71) – (9.74) определяем:

$$\Pi_{oN_d} = cG_{\varepsilon N_d} \ln[(t_{\varepsilon N_d} - t_{пN_d})(t_{oN_d}^o - t_{пN_d})^{-1}]. \quad (9.85)$$

$$\Pi_{rN_d} = cG_{rN_d} \ln[(t_{rN_d}^п - t_{пN_d})(t_{rN_d}^o - t_{пN_d})^{-1}], \quad (9.86)$$

В целом по отапливаемому зданию:

$$\Pi_{N_d} = (Q_{oN_d} + Q_{cN_d})(t_{пN_d} - t_{нyN_d})^{-1}. \quad (9.87)$$

Процесс, характеризующий теплопотери на горячеводных и отопительных участках от ЦТП до дома, определим на основании уравнений теплопередачи. Для прямых и обратных трубопроводов отопления и горячего водоснабжения имеем (рис. 9.2, 9.3б):

$$cG_{oN_d}(t_{oцN_d}^п - t_{oN_d}^п) = T_{oN_d}^п \Delta \tau_{oN_d}^п, \quad (9.88)$$

$$cG_{oN_d}(t_{oN_d}^o - t_{oцN_d}^o) = T_{oN_d}^o \Delta \tau_{oN_d}^o, \quad (9.89)$$

$$cG_{rN_d}(t_{rцN_d}^п - t_{rN_d}^п) = T_{rN_d}^п \Delta \tau_{rN_d}^п, \quad (9.90)$$

$$c(G_{rN_d} - G_{кN_d})(t_{rN_d}^o - t_{rцN_d}^o) = T_{rN_d}^o \Delta \tau_{rN_d}^o, \quad (9.91)$$

где на коллекторах ЦТП $t_{rц}^п = t_{rцN_d}^п > t_{rN_d}^п$; $t_{rц}^o \neq t_{rцN_d}^o < t_{rN_d}^o$; $t_{oц}^п = t_{oцN_d}^п > t_{oN_d}^п$; $t_{oц}^o \neq t_{oцN_d}^o < t_{oN_d}^o$.

Ввиду небольших перепадов температур показатели $T_{oN_d}^п$, $T_{oN_d}^o$, $T_{rN_d}^п$ и $T_{rN_d}^o$ можно с достаточной точностью вычислять как по формулам, основанным на среднеарифметическом температурном напоре, так и на среднелогарифмическом. Тогда на основании (9.88) – (9.91):

$$T_{oN_d}^п = cG_{oN_d} \frac{t_{oцN_d}^п - t_{oN_d}^п}{0,5(t_{oцN_d}^п + t_{oN_d}^п) - t_{okoN_d}} \approx cG_{oN_d} \ln \frac{t_{oцN_d}^п - t_{okoN_d}}{t_{oN_d}^п - t_{okoN_d}},$$

$$T_{oN_d}^o = cG_{oN_d} \frac{t_{oN_d}^o - t_{oцN_d}^o}{0,5(t_{oN_d}^o + t_{oцN_d}^o) - t_{okoN_d}} \approx cG_{oN_d} \ln \frac{t_{oN_d}^o - t_{okoN_d}}{t_{oцN_d}^o - t_{okoN_d}},$$

$$T_{rN_d}^п = cG_{rN_d} \frac{t_{rцN_d}^п - t_{rN_d}^п}{0,5(t_{rцN_d}^п + t_{rN_d}^п) - t_{окrN_d}} \approx cG_{rN_d} \ln \frac{t_{rцN_d}^п - t_{окrN_d}}{t_{rN_d}^п - t_{окrN_d}},$$

$$T_{rN_d}^o = c(G_{rN_d} - G_{кN_d}) \frac{t_{rN_d}^o - t_{rцN_d}^o}{0,5(t_{rцN_d}^o + t_{rN_d}^o) - t_{окrN_d}} \approx$$

$$\approx c(G_{\Gamma N_d} - G_{\Gamma N_d}) \ln \frac{t_{\Gamma N_d}^0 - t_{\text{окг}N_d}}{t_{\Gamma \text{ЦП}N_d}^0 - t_{\text{окг}N_d}}$$

Исследования на компьютере свидетельствуют о большом разнообразии режимов работы системы теплоснабжения. Сопоставим между собой показатели работы ЦТП (рис. 9.3а), в частности, в режиме 1 и режиме 2. В обоих режимах теплоснабжения каждого дома от ЦТП с точки зрения качества (температур) и количества (расходов воды) теплоносителя одинаково. Различие в том, что в режиме 1 суммарный расход воды на отопление зданий $G_{\text{оцр}} = 498,4 \text{ т/ч}$, а в режиме 2 $G_{\text{оцр}} = 428,7 \text{ т/ч}$, т.е. несколько меньше. Это вызвано тем, что в режиме 2 поток $G_{\text{ор}} =$, т.е. перекрыт, в то же время как в режиме 1 он имеется: $G_{\text{ор}} = 316,1 \text{ т/ч}$. В конечном итоге это сказывается на соответствующих изменениях отборных потоков обратной $G_{\text{б1}}$ и прямой $G_{\text{б2}}$ сетевой воды на бойлера. Вследствие этого температура обратной сетевой воды ($t_{\text{кц}}^0$) на возврате в энергоисточник из ЦТП в режиме 1 ниже ($t_{\text{кц}}^0 = 37,1$), чем в режиме 2 ($t_{\text{кц}}^0 = 47,1$) на 10°C . Тепловая нагрузка (теплоспособность) ЦТП в режиме 1 ($Q_{\text{оц}}^{\text{бр}} = 24,919$; $Q_{\text{цтп}}^{\text{бр}} = 27,249$) оказывается больше чем в режиме 2 ($Q_{\text{оц}}^{\text{бр}} = 21,435$; $Q_{\text{цтп}}^{\text{бр}} = 23,765$) соответственно на $\Delta Q_{\text{оц}}^{\text{бр}} = Q_{\text{цтп}}^{\text{бр}} = 3,484 \text{ Гкал/ч}$. Кроме того, в режиме 2 значительно больше нагрузка бойлеров по сетевой воде (в режиме 1: $G_{\text{б1}} = 16,2$; $G_{\text{б2}} = 17,7$; в режиме 2: $G_{\text{б1}} = 285,8$; $G_{\text{б2}} = 64,2$). Из сопоставления приведенных расчетов следует, что с точки зрения оценок теплоспособности и гидравлических сопротивлений работа ЦТП по режиму 1 в сравнении с режимом 2 имеет свои преимущества.

Аналогичный анализ следует из сопоставления между собой режимов теплоснабжения жилого дома по Вар 1 и Вар 2 (рис. 7.3в). В качестве критериев, определяющих преимущество одного режима (Вар. 1 или Вар. 2) принимаются конкретные условия эксплуатации. Например, по условиям поддержания первоначальной температуры теплоносителя $t_{\text{оц}N_d}^{\text{п}}$ на выходе из теплоисточника (ЦТП, водогрейного котла и пр.) Вар. 2 предпочтителен в сравнении с Вар. 1, т. к. в случае Вар. 2 температура $t_{\text{оц}N_d}^{\text{п}} = 90^\circ \text{C}$, а в случае Вар. 1 $t_{\text{оц}N_d}^{\text{п}} = 110^\circ \text{C}$. С другой стороны в случае Вар. 2 возрастает циркуляция воды $G_{\text{о}N_d}$ в отопительном контуре дома и т. д. Как видно, в любом случае программное обеспечение в значительной мере способствует принятию оптимального решения с учётом конкретных условий эксплуатации системы теплоснабжения. Кроме того, программные средства такого рода наряду с приборами учёта могут быть приспособлены для дополнительного анализа, связанного с начислением выплат за отопление и горячую воду как по

отдельным потребителям (например, домам), как и по системе теплоснабжения в целом.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Приведенные материалы позволили разработать целый комплекс программных средств, позволяющих:

1. Производить обработку опытных данных (полученных путём измерения штатными приборами в ИТП) для выявления и изучения соответствующих характеристик отопливаемых зданий и примыкающих к ним тепло-трасс.

2. Производить обработку опытных данных для выявления и изучения соответствующих характеристик оборудования ЦТП.

3. При аудиторских проверках давать оценку системы теплоснабжения путём обработки данных измерений на ЦТП и ИТП.

4. Изыскивать рациональные методы организации и регулирования режимов отопления зданий, разноточных от ЦТП и с разными гидравлическими характеристиками.

5. Выявлять температурные графики прямой и обратной воды для каждого объекта теплоснабжения (дома) в отдельности и формировать на этой основе общий (среднеинтегральный) температурный график , который следует выдерживать на ЦТП.

6. Определять оптимальные параметры теплоносителя, поступающего на ЦТП от энергоисточника (котельной).

7. Разрабатывать оптимальные режимы работы ЦТП в комплексе с объектами теплоснабжения согласно лимитированному (согласованному) температурному графику прямой сетевой воды в условиях эксплуатации.

8. Производить расчёт режимов теплоснабжения домов с качественным и количественным регулированием тепловых нагрузок, а также при условии постоянных параметров теплоносителя на выходе из энергоисточника до входа в ИТП.

9. Изучать режимы работы ЦТП при разных нагрузках подмешивающего насоса.

10. Изучать режимы работы ЦТП при разных распределениях расходов сетевой воды между 1-ой и 2-ой ступенями подогревателя.

11. Изучать влияние величины горячего водоразбора на температурный и гидравлический режимы работы ЦТП в целом.

12. Изучать влияние теплотехнических характеристик отопительных приборов в ЦТП, состояния теплоизоляции труб и здания в целом на величину теплопотерь в ЦТП.

13. Выявлять оптимальные режимы работы ЦТП, направленные на снижение температуры и расхода теплоносителя от энергоисточника.

14. Выполнять ряд расчётов познавательного характера.

15. Разрабатывать соответствующие нормативные документы, необходимые для планирования тепловых ресурсов и выполнения соответствующих прогнозов в системе теплоснабжения

Рекомендуемые программные средства предусматривают два этапа исследования:

- первый сводится к обработке легко доступных (на основании штатных приборов) опытных данных с целью выявления ряда констант, определяющих теплотехнические характеристики отопительных приборов и ограждающих помещений;

- второй сводится к выполнению соответствующих расчётов на базе установленных констант.

9.4. Модернизация ЦТП и стабилизация режима работы системы теплоснабжения.

Опыт показывает, что в сравнении с независимыми зависимые системы теплоснабжения, о которых шла речь выше, имеют ряд недостатков, связанных, как правило, с проблемами надёжности их работы. Исследования, выполненные на моделях, открывают ещё одну существенную сторону преимущества независимых схем: возможность регулирования и стабилизации температурного и гидравлического режимов, как внешней теплосети, так и квартальных сетей, включая контуры циркуляции в объектах теплоснабжения (домах). На рис. 9.4а дана схема модернизированного ЦТП (ЦОП), в кото-

Расчётная схема режимов работы ЦТП (ТОП), отапливающего регион зданий (красным шрифтом отмечены измеренные (скорректированные) показатели. Версия 3

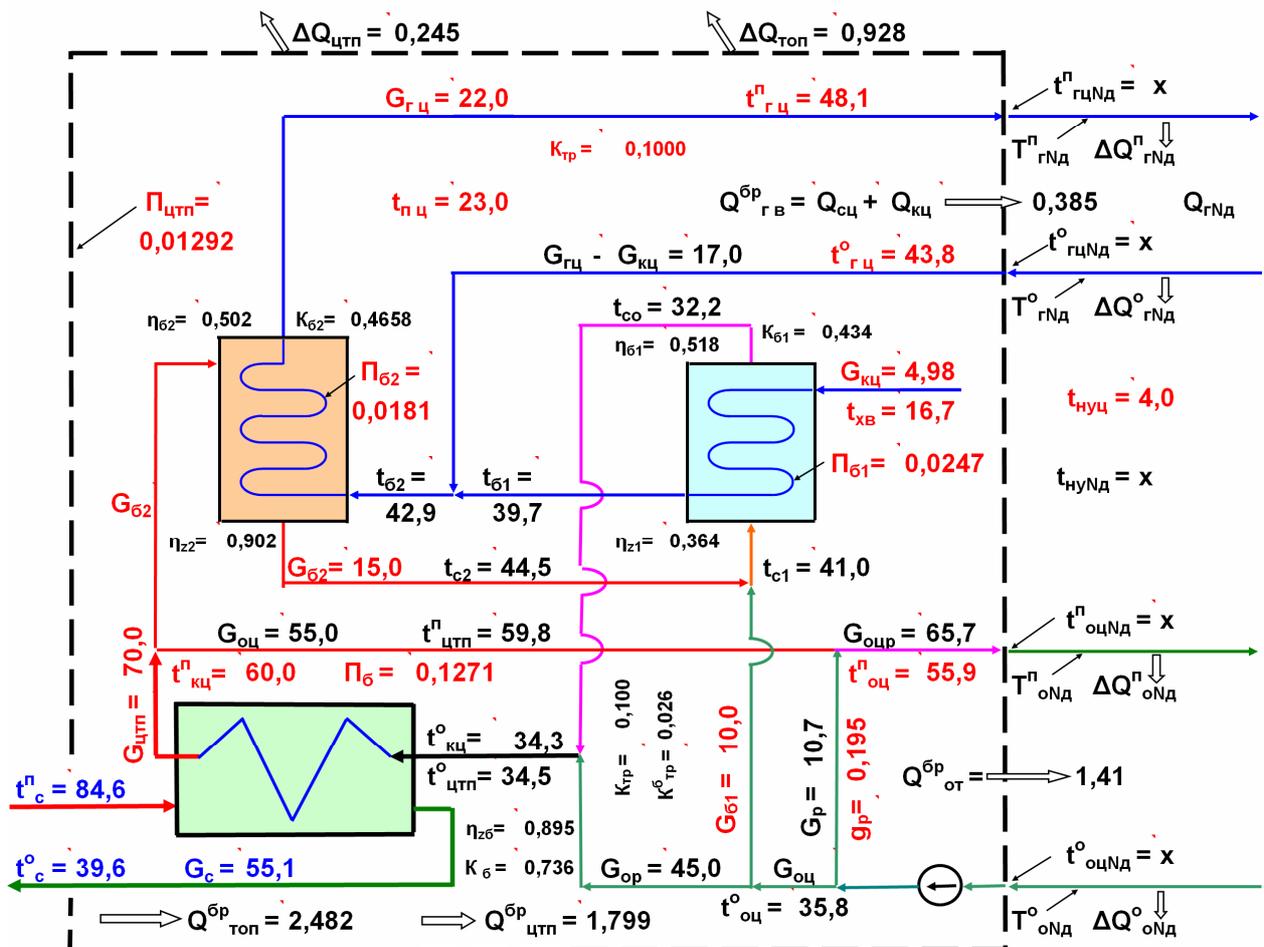


Рис. 9.4а. Вариант схемы ЦТП с бойлером для организации независимой системы теплоснабжения квартальных сетей.

Сохранить Скопировать Удал. из нак. Удал. из буф. район жилых зданий.
 Индикация достоверности результатов расчёта ВЫП Сохранить модель
 Индикация достоверности результатов расчёта ВЫП Восстановить модель
 сопоставл. результатов расчёта при за- и независимой схемах теплоснабжения.

Расчётная таблица исходных данных для анализа результатов расчёта при пошаговых изменениях аргументов. 0,00 0,0000 0,0000

Знач.	от A ₁	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	до A ₂
аргум.	10,00	10,00	-18,33	-16,67	5,00	-13,33	1,67	0,00	-1,67	-3,33	-5,00	-5,00

1. Результаты расчётов ЦТП без бойлера при зависимой схеме теплоснабжения.

Обозн.	G _{цтп}	G _{от}	G _{отв}	G _{г.ц}	G _{к.ц}	K _{тр}	П _{б1}	П _{б2}	П _{цтп}
Вар.1	55,00	40,00	47,79	22,00	4,98	0,100	0,024730115	0,018074091	0,012919255
Вар.2	70,00	55,00	65,71	22,00	4,98	0,100	0,024730115	0,018074091	0,012919255
Разм.	т/ч	т/ч	т/ч	т/ч	т/ч	-	Гкал/(ч*град)	Гкал/(ч*град)	Гкал/(ч*град)

Во избежание парадоксальных результатов

Обозн.	G _{б1}	G _{б2}	t _{к.ц} ^н	t _{к.ц} ^о	t _{от} ^н	t _{от} ^о	t _{г.ц} ^н	t _{г.ц} ^о	t _{хв}	t _{п.ц}	t _{ч.ц}	g _p
Вар.1	10,00	15,00	60,00	34,07	55,9	36,0	48,1	43,8	16,7	23,0	4,0	0,195
Вар.2	10,00	15,00	60,00	34,30	55,9	35,8	48,1	43,8	16,7	23,0	4,0	0,195
Разм.	т/ч	т/ч	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	т/ч

исходные данные должны быть заданы в реально допустимых пределах.

Обозн.	G _р	G _{отв}	Δt _{тр}	t _{штп} ^н	t _{штп} ^о	t _{б1}	t _{б2}	t _{со}	t _{с1}	t _{с2}	ΔQ _{цтп}	ΔQ _{тр}
Вар.1	7,79	30,00	0,22	59,8	34,29	39,77	42,89	32,2	41,1	44,5	0,245	0,025
Вар.2	10,71	45,00	0,18	59,8	34,48	39,67	42,87	32,2	41,0	44,5	0,245	0,025
Разм.	т/ч	т/ч	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	град.	Гкал/ч	Гкал/ч

Усл. достов.: 0 ≤ η ≤ 1; K_{б1} + K_{б2} + K_{тр} = 1

Обозн.	K _{б1}	ΔQ _{б1}	K _{б2}	ΔQ _{б2}	Δt _{б1}	Δt _{б2}	η _{з1}	η _{з2}	η _{б1}	η _{б2}	ΣK _{тр,б1,б2}
Вар.1	0,436	0,107	0,4642	0,114	4,65	6,34	0,3635	0,9024	0,5179	0,5016	1,00
Вар.2	0,434	0,107	0,4658	0,114	4,63	6,37	0,3636	0,9022	0,5178	0,5018	1,00
Разм.	-	Гкал/ч	-	Гкал/ч	град.	град.	-	-	-	-	-

Результаты анализа

Обозн.	L _{з1} =Z ₁	L _{з2} =Z ₂	Q _{бр.б1}	Q _{нет.б1}	Q _{бр.б2}	Q _{нет.б2}	Q _{бр.штп}	Q _{нет.штп}	Q _{бр.от}	Q _{бр.г.в}	α ^в _{цтп}	η ^{зд} _{цтп}
Вар.1	0,1962	0,5949	0,222	0,115	0,229	0,115	1,426	1,181	1,037	0,389	0,27	82,79
Вар.2	0,1962	0,5949	0,221	0,114	0,229	0,115	1,799	1,553	1,413	0,385	0,21	86,35
Разм.	-	-	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	-	%

Значения промежуточных расчётных показателей в ЦТП.

показ. достов. решения задачи, основаны на соответствии полученных результатов системе исх. уравнений

Обозн.	R _{з1}	R _{з2}	W _{1б1}	W _{2б1}	W _{1б2}	W _{2б2}	m _{б1}	m _{б2}	E _{б1}	E _{б2}	L _{з1} =Z ₁	L _{з2} =Z ₂
Вар.1	-9,1561	-14,382	0,025	0,005	0,015	0,022	-160,76	21,212	53,280	0,682	0,1962	0,5949
Вар.2	-9,1561	-14,382	0,025	0,005	0,015	0,022	-160,76	21,212	53,280	0,682	0,1962	0,5949
Разм.	ч°С/Гк	ч°С/Гк	Гк/(ч°С)	Гк/(ч°С)	Гк/(ч°С)	Гк/(ч°С)	°С*ч/Гк	°С*ч/Гк	-	-	-	-

Обозн.	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₁	M ₁₂
Вар.1	0,432	27,6	-93,9	-1102	-382	0,406	28	106,9	-34,508	-23,9	-37,0	618
Вар.2	0,344	29,1	-89,5	-1106	-382	0,406	27	106,9	-34,364	-23,8	-37,0	618
Разм.	°С*ч/т	град.	°С*т/ч	°С*т/ч	°С*т/ч	-	град.	ч°С/Гк	град.	град.	т/ч	°С*т/ч

Обозн.	M ₁₃	M ₁₄	M ₁₅	M ₁₆	M ₁₇	P ₁ =ΔQ _{б1}	P ₂ =ΔQ _{б2}	δ _о	C _о
Вар.1	468	28,8	-3,1	117,9	-12,6	-0,107	-0,107	-4E-13	0,001
Вар.2	468	28,8	-3,1	117,9	-12,6	-0,107	-0,107	2E-13	0,001
Разм.	°С*т/Гк	°С*ч/Гк	град.	°С*ч/Гк	град.	Гкал/ч	Гкал/ч	%	Гк/(т°С)

2. Результаты расчётов ТОП, т.е ЦТП с бойлером при независимой схеме теплоснабжения.

Обозн.	П _б	G _с	t _с ^н > t _{кц} ^н	t _с ^о > t _{кц} ^о	K _б	K _{б1}	K _{б1} ^б	K _{б2}	K _{б2} ^б	K _{тр}	K _{тр} ^б
Вар.1	0,127147481	50,0	90,0	27,90	0,872	0,4358	0,05559	0,4642	0,0592	0,1000	0,0128
Вар.2	0,127147481	55,1	84,6	39,56	0,736	0,4342	0,11482	0,4658	0,1232	0,1000	0,0264
Разм.	Гкал/(ч*град)	т/ч	град.	град.	-	-	-	-	-	-	-

Условие расчёта: температура обратной сетевой воды - t_{кц}^о должна быть как можно меньше.

Обозн.	ΔQ _{цтп}	ΔQ _{топ}	ΔQ _б	Q _{бр.штп}	Q _{бр.топ}	Q _{нет.топ}	η _{зб}	η _б	Δt _б	Δt _б	R _{зб}
Вар.1	0,245	1,925	1,679	1,426	3,105	1,181	1,110	0,4593	11,22	11,22	-6,9956
Вар.2	0,245	0,928	0,683	1,799	2,482	1,553	0,895	0,7249	14,15	14,15	-5,7866
Разм.	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	-	-	град	град	-

Условие достоверности расчётов: Σ K = K_б + K_{б1}^б + K_{б2}^б + K_{тр}^б = 1

Обозн.	W _{1б}	W _{2б}	m _{зб}	E _{зб}	L _{зб} =Z _б	Q _{бр.б}	Q _{нет.б}	Q _{нет.б}	Δt _{зб1}	Δt _{зб1}	Σ K
Вар.1	0,0500	0,055	1,82	0,7936	0,74099	3,105	1,426	1,426	30,0	-6,2	1,0000
Вар.2	0,0551	0,070	3,87	0,6112	0,74893	2,482	1,799	1,799	24,6	5,3	1,0000
Разм.	Гкал/(ч*град)	ч°С/Гкал	-	-	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	°С	°С	-

Условия достоверности расчётов

Обозн.	δ _{ΔQб1}	δ _{ΔQб2}	δ _{ΔQб}	(ΔQ _{б1}) ₁	(ΔQ _{б1}) ₂	(ΔQ _{б2}) ₁	(ΔQ _{б2}) ₂	(ΔQ _б) ₁	(ΔQ _б) ₂
Вар.1	6,E-12	6,E-13	0E+00	0,107	0,107	0,114	0,114	1,679	1,679
Вар.2	-9,E-14	3,E-13	-2E-14	0,107	0,107	0,114	0,114	0,683	0,683
Разм.	%	%	%	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч	Гкал/ч

Рис. 9.4.б. Фрагмент из программного файла «ЦОП-3А» по расчёту ЦТП, работающего по независимой схеме теплоснабжения (рис. 9.4а).

организации независимой схемы недостаточно. Стабилизацию основной сети можно дополнительно обеспечить путём частичной модернизации традиционной схемы ИТП (рис.9.2, 9.3б) так, как это показано на рис.9.6, 9.7.

Исследование теплотехнических характеристик ЦТП, отапливающего регион зданий

Красным шрифтом отмечены измеренные (исходные данные) показатели. Версия 3.

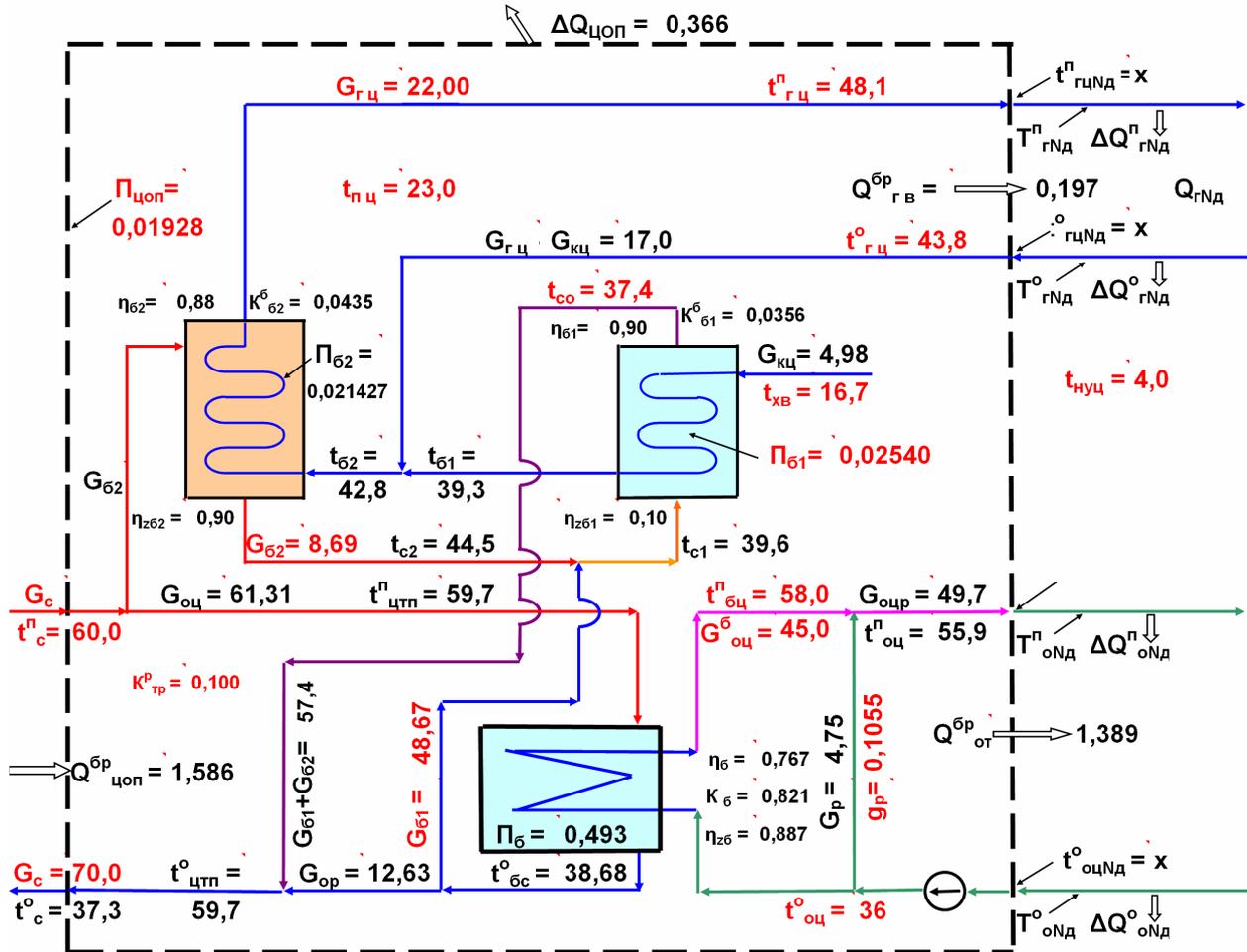


Рис. 9.5.б. Фрагмент из программного файла «ЦОП-3Б» по расчёту ЦТП, работающего по независимой схеме теплоснабжения (рис. 9.5а).

Принципиальная возможность организации и регулирования тепловых нагрузок при таком режиме теплоснабжения подтверждается исследованиями на математических моделях (пакет программных файлов типа «Дл9» и «дл10» и др.) с помощью компьютера. Для этого в обоих случаях предусматривается вариант каскадной (КСП) схемы питания внутреннего контура (ИТП) циркуляции в объекте теплоснабжения. В результате (рис. 9.6, 9.7) в диапазоне наружных температур $t_{\text{нуНд}} = -2,5 \div -25,0$ °С циркуляция ($G_{\text{оц}}^{\text{д}} = 7,0$ т/ч) и температура ($t_{\text{оцНд}}^{\text{п}} \approx t_{\text{оНд}}^{\text{п}} = 110,0$ °С) постоянны. При этом, в случае, приведенном на рис. 9.6, температура обратной воды на входе во внешнюю сеть по мере снижения температуры наружного воздуха возрастает от $t_{\text{оцНд}}^{\text{о}} = 69,5$ до $t_{\text{оцНд}}^{\text{о}} = 89,7$, т.е. на 20,2 °С. В случае, приведенном на рис. 9.7, эта температура постоянна: $t_{\text{оцНд}}^{\text{о}} = 68,0$ °С.

Как видно, стабилизация температурного и гидравлического режимов работы внешней теплосети достигается путём прокладки третьего («сбросного») канала (рис. 9.7). В отличие от схемы на рис. 9.6 дополнительное постоянство температуры обратной сетевой воды (рис.9.7) обеспечивается путём рециркуляции «избыточной» массы прямой по третьему каналу, расположенному в общем теплопроводе. Он может быть выполнен отдельно, либо располагаться внутри прямого трубопровода от ЦТП (типа труба в трубе), образуя обратный кольцевой канал.

Вариант прокладки третьего («сбросного») канала в действующих теплосетях (рис. 9.7) требует дополнительных капитальных затрат. Кроме того, сам факт наличия третьего трубопровода свидетельствует об увеличении поверхностей теплообмена теплоносителя с окружающей средой, т. е. способствует увеличению теплопотерь в окружающую среду. С другой стороны пониженная температура обратной сетевой воды способствует их уменьшению и дополнительной выработке электроэнергии на тепловом потреблении.

На основании изложенного следует, что поиски оптимальных вариантов применения схем на рис. 9.6 и 9.7 в сочетании с вариантами режимов работы ЦТП (по за- и независимым схемам) в каждом конкретном случае могут увенчаться успехом.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Организация каскадной схемы циркуляции воды во внутренних контурах объектов теплоснабжения позволяет осуществить:

- качественное регулирование тепловой нагрузки во внутренних контурах объектов теплоснабжения;
- режим работы внешнего контура теплосети с постоянными значениями циркуляции и температуры прямой воды.

2. Прокладка третьего «сбросного» канала для рециркуляции «избыточной» массы прямой сетевой воды предназначена для стабилизации теплового и гидравлического режимов системы теплоснабжения в целом, когда соблюдается также постоянство температуры обратной сетевой воды.

3. Канал рециркуляции может представлять собой либо отдельный трубопровод, либо располагаться внутри прямого трубопровода, образуя кольцевой канал.

Приведенные в порядке примеров программные файлы по организации принципа каскадной схемы в контурах циркуляции воды рекомендуются в качестве аналогов при дальнейших разработках в области оптимизации систем теплоснабжения в целом.