

ГЛАВА 8. ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОСЕТЕЙ.

8.1. Постановка вопроса.

Теплосети – это прежде всего теплообменник, состоящий из множества труб, через изоляцию которых часть транзитного потока теплоты передается в окружающую среду. С позиций энергоисточника – это своего рода «санкционированный» потребитель теплоты, именуемый «собственными нуждами» и требующий к себе пристального внимания. В настоящее время вопросам анализа теплопотерь в сетях не оказывается должное внимание на многих предприятиях. Систематическая отчетность о теплопотерях в сетях носит сугубо декоративный характер. Учёт разрывов в сетях решает вопросы организации их ремонта, но не снижения теплопотерь в них. Из этого следует, что систему отчетности и известные методы анализа режимов работы теплосетей следует пересмотреть и доработать с целью организации систематической обработки первоначальной информации и выявления имеющихся скрытых резервов экономии теплоты.

На основании изложенного следует, что неуклонный рост объемов и старения теплосетей является важным и возможно доминирующим фактором, определяющим заметный рост теплопотерь в сетях. Отсутствие исследований и статистики в этой области затрудняет выявить достоверные аргументы этого факта.

Практический интерес представляют результаты анализа температурного режима работы теплосети с учётом утечек и охлаждения воды за счёт теплопотерь по показаниям штатных приборов. В отличие от нормативных показателей расчёт фактических теплопотерь в сетях затрудняется выявлением истинных значений теплофизических качеств изоляции на момент эксплуатации. Результаты примерных расчётов, приведенных выше на рис. 7.1а, 7.1б в главе 7 свидетельствуют о том, что при организации соответствующего мониторинга, основанного на целенаправленной систематической обработке фактических показателей массовых потоков в сетях и их температур, задача выявления фактических теплопотерь вполне разрешима. Примерные направления такого анализа режимов работы теплосетей в целом изложены ниже.

8.2. Показатели размеров теплосетей.

Показателем теплосети, характеризующим ее размеры, являются суммарные значения объемов ($V_{Тс}$) и поверхностей $S_{Тс}$, образующих эту теплоту труб по их внутренним диаметрам и протяженностям на всех участках [63, 109]:

$$S_{Тс} = \pi \left(\sum_{i=1}^{j_{п}} d_{iп} L_{iп} + \sum_{i=1}^{j_{о}} d_{iо} L_{iо} \right), \quad (8.1)$$

$$V_{Тс} = 0,25\pi \left(\sum_{i=1}^{j_{п}} d_{iп}^2 L_{iп} + \sum_{i=1}^{j_{о}} d_{iо}^2 L_{iо} \right). \quad (8.2)$$

Остальные геометрические показатели теплосети (по аналогии с одиночной трубой назовем их «виртуальными») определим как функции ее поверхности S_{TC} и объема V_{TC} так:

- виртуальная протяженность теплосети

$$L_{TC} = 0,25 S_{TC}^2 / (\pi V_{TC}), \quad (8.3)$$

- виртуальный диаметр теплосети

$$D_{TC} = 4 V_{TC} S_{TC}^{-1}, \quad (8.4)$$

- виртуальное сечение потока теплоносителя в теплосети

$$F_{TC} = 4 \pi V_{TC}^2 S_{TC}^{-2}. \quad (8.5)$$

Руководствуясь теорией размерностей физических величин, на основании (8.3) – (8.5) определим критерий – симплекс Π_{TC} , характеризующий основные виртуальные показатели размеров теплосети S_{TC} и V_{TC} :

$$\Pi_{TC} = D_{TC} L_{TC} F_{TC}^{-1} = 0,25 S_{TC}^3 (\pi V_{TC})^{-2} = 4 L_{TC} (\pi D_{TC})^{-1} = \bar{b}_{TC} \pi^{-1}, \quad (8.6)$$

где

$$\bar{b}_{TC} = 4 L_{TC} / D_{TC} = \pi \Pi_{TC}. \quad (8.7)$$

Следует заметить, что показатели $\Pi_{TC} = 4 L_{TC} (\pi D_{TC})^{-1}$ и $\bar{b}_{TC} = 4 L_{TC} / D_{TC}$ адекватны общеизвестному и часто используемому в инженерной практике безразмерному традиционному показателю l/d , характеризующему длину трубы l в размерах, кратных ее диаметру d . Согласно выражениям (8.6) и (8.7) показатели Π_{TC} и \bar{b}_{TC} являются функцией двух объективно существующих факторов: объема V_{TC} и поверхности S_{TC} теплосети. На основании выражения (8.5) следует, что при равных объемах сопоставляемых сетей $V_{TC} = V_{TC1} = V_{TC2}$ поверхности их могут быть разными, т. е. $F_{TC1} / F_{TC2} = S_{TC2}^2 / S_{TC1}^2$. К сожалению, именно этот факт не учитывается в пункте 4.12.30 ПТЭ [110], согласно которому величину нормативной утечки сетевой воды следует определять в зависимости только от одного фактора – объема теплосети V_{TC} , игнорируя реально существующий второй фактор – ее поверхность S_{TC} . Именно на поверхностях S_{TC} теплосети как раз и образуются очаги утечек, именно она определяет величину теплопотерь через теплоизоляцию. В результате эта особенность теплосети, как теплообменника в целом, сказывается на существенном различии теплопотерь (и с утечками и через теплоизоляцию) между регионами с магистральными теплопроводами и регионами квартальных теплосетей с трубами небольших диаметров, но с большой суммарной поверхностью S_{TC} .

Виртуальные размеры теплосети $L_{TC} = f_L(V_{TC}, S_{TC})$ и $D_{TC} = f_D(V_{TC}, S_{TC})$, отвечающие реально существующим значениям V_{TC} и

S_{TC} , позволяют рассматривать исследуемую разветвленную теплосеть как одиночную трубу.

Не исключаются варианты разделения теплосети по заранее установленным принципам. Например, по прямой и по обратной воде с соответствующими средними температурами в виртуальных трубах прямой (t_{Π}^{CP}) и обратной (t_0^{CP}) воды, а также на отдельные участки, например, с надземной или подземной прокладками, в канальной, бесканальной и т. д.

Гидравлический расчёт теплосети в целом основан на отдельных расчётах каждого её i -го ответвления по тому же методу, изложенному в разделе 7.2 для одиночной трубы:

$$\Delta P_{Li} = 0,5 \lambda_{\text{Тр}i} L_i d_i^{-1} \rho W_i^2, \quad (8.8)$$

$$\lambda_{\text{Тр}i} = 0,11(k_{\text{э}i} d_i^{-1} + 0,68 \text{Re}_i^{-1})^{0,25} \approx 0,11(k_{\text{э}i} d_i^{-1})^{0,25}, \quad (8.9)$$

$$G_i = 0,25 \pi \rho W_i d_i^2, \quad (8.10)$$

$$\Delta P_{Li} = 8 \cdot \lambda_{\text{Тр}i} L_i G_i^2 (10^4 \text{ г } \pi^2 \rho d_i^5)^{-1}, \quad (8.11)$$

$$\beta_{mi} = \Delta P_{mi} / (\Delta P_{mi} + \Delta P_{Li}), \quad (8.12)$$

$$\Delta P_{mi} = \beta_{mi} \Delta P_{Li} (1 - \beta_{mi})^{-1}. \quad (8.13)$$

В данном случае расчёт каждого ответвления сети усложняется отсутствием достоверных данных по распределению массовых потоков G_i , а следовательно и их скоростей W_i в разветвленных трубах. Уравнение д'Арси позволяет решить эту задачу с некоторым приближением. Для этого достаточно знать суммарные массовые расходы воды по главным (прямому и обратному) магистральным теплопроводам от энергоисточника и их размеры. Из теоретического анализа и опыта эксплуатации следует, что удельные (на единицу длины трубопровода – $\Delta P_{Li} / L_i$) перепады давлений на всех участках теплосети от теплоисточника до потребителей примерно равны между собой., т. е. $\Delta P_{Li} / L_i \approx \Delta P_{L1} / L_1$ Тогда на основании (8.8), (8.9), имея в виду, что $\text{Re}_{i,1} = W_{i,1} d_{i,1} v_{i,1}^{-1}$, при равных температурах в магистральном теплопроводе (инд. 1) и исследуемом ответвлении (инд. i) получаем иррациональное уравнение, позволяющее вычислить скорость потока W_i в любом ответвлении сети:

$$\frac{W_i}{W_1} = \left(\frac{d_i \lambda_{\text{Тр}i}}{d_1 \lambda_{\text{Тр}1}} \right)^{0,5} = \left(\frac{d_i}{d_1} \right)^{0,5} \left(\frac{k_{\text{э}1} d_1^{-1} + 0,68 W_1^{-1} d_1^{-1} v_1}{k_{\text{э}i} d_i^{-1} + 0,68 W_i^{-1} d_i^{-1} v_i} \right)^{0,125}. \quad (8.14)$$

Тогда с помощью (8.14) на основании формулы (8.10) вычисляем массовый расход потока G_i :

$$\frac{G_i}{G_1} = \left(\frac{d_i}{d_1} \right)^{2,5} \left(\frac{\lambda_{\text{Тр}1}}{\lambda_{\text{Тр}i}} \right)^{0,5}, \quad (8.15)$$

При исследовании теплотехнических показателей теплопроводов обращает на себя внимание такой факт: величина теплотерь в трубопроводе, а следовательно и теплосети в целом, практически не зависит от расхода циркулируемой воды. Из этого следует, что коэффициент теплопередачи в сети также практически постоянен в широком диапазоне скоростей потоков воды ($W_i = 0,1 - 3,0$ м/с) и определяется в основном температурным напором. Следовательно, расчёт теплотерь в ответвлённых трубах теплосети может выполняться на основе некоторой условной скорости потока (W_i^{yc}), не внося существенных погрешностей. Как показывают расчёты, различие между коэффициентами трения $\lambda_{\text{Тр}i}$ и $\lambda_{\text{Тр}1}$ также несущественно сказываются на итоговых результатах.

С другой стороны, учитывая вышеизложенное, пренебрегая различиями скоростей в трубопроводах «1» и «i», т. е. допуская, что $W_i \approx W_1$, на основании (8.10) определяем:

$$\frac{G_i}{G_1} \approx \left(\frac{d_i}{d_1} \right)^2, \quad (8.16)$$

Поэтому в целях обеспечения автономности и упрощения алгоритма расчётов величину упомянутой условной скорости W_i^{yc} целесообразно принять равной скорости потока W_1 в основной магистрали до разветвления сети, т.е. $W_i^{yc} = W_1$. На основании анализа формул (8.15) и (8.16) следует, что практические расчёты по определению массовых потоков G_i целесообразно выполнять по формуле (8.16) при значениях n в диапазоне от $n \geq 2,5$, как это имеет место в формуле (8.15), до $n = 2$.

Размеры теплосети, сведенные к показателям виртуальных труб по прямой и обратной воде, позволяют значительно упростить гидравлические характеристики и соответствующие расчёты теплосети в целом. Они позволяют выявить ряд автономных показателей в системе теплоснабжения, характерных для оценок традиционных процессов теплообмена между потоками в трубе и окружающей средой, систематизировать теплотехнические расчеты и способствовать объективному сопоставлению теплосетей разных размеров. Кроме того, предложенный метод оценки размеров теплосетей играет немаловажную роль при административном управлении в системах теплоснабжения.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. Размеры теплосети характеризуются двумя объективно существующими факторами: суммарным значением объёмов ($V_{\text{Тс}}$) и поверхностей

(S_{TC}) образующих её труб. Это позволяет ввести индуктивное понятие (критерий Π_{TC}) определяющий её виртуальные размеры: «длину» и «диаметр», как функции переменных V_{TC} и S_{TC} .

2. Виртуальная оценка геометрических размеров теплосети позволяет установить ряд автомобильных показателей, связанных с режимами работы теплосети и оказать существенное влияние на усовершенствование методов административно-технического управления в этой области теплоэнергетики.

8.3. Корректировка отчётных теплопотерь и анализ показателей эффективности теплосети.

За последние 15 – 20 лет коренным образом изменился принцип оценки экономии топлива на электростанциях. До 1987 года эта экономия вычислялась методом, изложенным в разделах 3, 4 инструкции Союзтехэнерго [111]. Новый принцип оценки эффективности топливоиспользования [33] основан на учёте и организации работ, направленных на освоение имеющихся резервов экономии топлива. Он предусматривает введение новой терминологии в отношении нормируемых показателей, которые на определённых этапах именуется так: исходно-нормативные $\Pi_{ин}$, номинальные $\Pi_{н}$, нормативные $\Pi_{нр}$ и фактические $\Pi_{ф}$. В дальнейшем задача сводится к определениям взаимосвязей между ними. Например, величина нормативного показателя $\Pi_{нр}$ вычисляется на основании номинального $\Pi_{н}$ так:

$$\Pi_{нр} = \Pi_{н}[1 + R(1 - \mu)], \quad (8.17)$$

где R – коэффициент теплового резерва нормируемого показателя; $\mu = 0 - 1$ – коэффициент использования имеющегося резерва за период времени, запланированный на его полную реализацию. В свою очередь номинальный показатель $\Pi_{н}$ вычисляется на основании исходно-нормативного $\Pi_{ин}$ по соответствующим полуэмпирическим зависимостям $\Pi_{н} = f(\Pi_{ин})$, где показатель $\Pi_{ин}$ устанавливается заранее путём расчёта, либо на основании статистической обработки отчётных данных. Эффект (экономия) от реализации теплового резерва показателя Π вычисляется как разность: $\Delta\Pi = \Pi_{ф} - \Pi_{нр}$.

Из формулы (8.17) следует, что в начале запланированного периода освоения резервов, когда коэффициент его использования $\mu = 0$, значение контролируемого показателя $\Pi_{нр} = \Pi_{нр}^0 = \Pi_{н}(1 + R)$. В конце этого периода, когда степень использования резервов по этому показателю $\mu = 1$, согласно той же формуле (8.17) $\Pi_{нр} = \Pi_{нр}^к = \Pi_{н}$. Это означает, что при полном освоении имеющихся резервов ($\mu = 1$) нормативные показатели равны номинальным. Далее по истечении запланированного срока освоения резервов производится пересмотр нормативных характеристик оборудования с последующим изысканием новых мероприятий по освоению имеющихся резервов.

ФаТс1											
Корректировка отчётных показателей $Q_{тф}$ по теплопотерям и перепадам температур											
Оценка и анализ эффективности работы теплосети и системы теплоснабжения в целом											
Корректировка ВЫП $\Delta t_{пд}^{изм}$ и $\Delta t_{об}^{изм}$											
Обозн.	$t_{п}^{ср}$	$t_{о}^{ср}$	$G_{п}^{вх}$	$G_{уф}$	$G_{ун}$	$t_{нв}^{\phi}$	$t_{хв}$	$t_{п}^{вх}$	$t_{п}^{вых}$	$t_{о}^{вх}$	$t_{о}^{вых}$
Изм. Пр.	100,0	60,0	150,0	1,500	0,785	-15,0	10,00	101,5	98,5	60,88	59,12
Изм. Об.	100,0	60,0	150,0	1,500	0,785	-15,0	10,00	101,7	98,3	61,00	59,00
Отчёт.	100,0	60,0	150,0	1,500	0,785	-15,0	10,00	101,6	98,4	60,94	59,06
Разм.	°C	°C	т/ч	т/ч	т/ч	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Обозн.	$\Delta t_{пд}^{изм}$	$\delta t_{п}^{\phi}$	$\Delta t_{об}^{изм}$	$\delta t_{о}^{\phi}$	$Q_{тф}$	$\Delta t_{пд}^p$	$\Delta t_{об}^p$	$W_{тс}^p$	$Q_{тн}^{\phi}$		
Изм. Пр.	3,000	-1,89E-12	-	-	0,846	3,000	-	-	0,310		
Изм. Об.	-	-	2,000	0	0,953	-	2,000	-	0,310		
Отчёт.	3,193	-	1,885	-	0,899	3,193	1,885	1,320	0,310		
Разм.	°C	%	°C	%	МВт	°C	°C	м /с	МВт		
Обозн.	$t_{окр}^{ср}$	$\beta_{уф}$	$\beta_{ун}$	$\Delta G_{у}$	$\delta G_{у}$	$\Delta Q_{у}$	$\delta Q_{у}$	$\Delta Q_{т}$	$\delta Q_{т}$		
Изм. Пр.	1,54	0,1261	0,1709	0,715	91,1	0,058	91,1	0,536	63,3		
Изм. Об.	1,54	0,1136	0,1709	0,715	91,1	0,058	91,1	0,643	67,5		
Отчёт.	1,54	0,1195	0,1709	0,715	91,1	0,058	91,1	0,589	65,5		
Разм.	°C	-	-	т/ч	%	МВт	%	МВт	%		
Обозн.	$\Delta t_{ф}$	$Q_{уф}$	$Q_{ун}$	$Q_{пф}$	$Q_{пн}^{\phi}$	$q_{лф}$	$q_{лн}^{\phi}$	$q_{сф}$	$q_{сн}$	$\delta_{1,2} Q_{уф}$	$\delta_{1,2} Q_{тф}$
Изм. Пр.	78,5	0,122	0,064	0,968	0,374	84,6	31,02	134,70	49,37	12,61	87,39
Изм. Об.	78,5	0,122	0,064	1,075	0,374	95,3	31,02	151,74	49,37	11,36	88,64
Отчёт.	78,5	0,122	0,064	1,022	0,374	90,0	31,02	143,22	49,37	11,95	88,05
Разм.	°C	МВт	МВт	МВт	МВт	Вт/м	Вт/м	Вт/м ²	Вт/м ²	%	%
Обозн.	$q_{пф}$	$q_{пн}^{\phi}$	$\Delta q_{п}$	$10^6 \chi_{тсф}$	$10^6 \chi_{тсн}^{\phi}$	$10^6 \Delta \chi_{тсф}$	$\delta \Delta \chi_{тсф}$	$K_{лф}$	$K_{лн}$	$K_{сф}$	$K_{сн}$
Изм. Пр.	12,88	4,98	7,90	0,64429	0,248904	0,395386	158,9	1,079	0,395	1,717	0,629
Изм. Об.	14,20	4,94	9,26	0,71042	0,247137	0,463283	187,5	1,215	0,395	1,934	0,629
Отчёт.	13,54	4,96	8,58	0,677473	0,248018	0,429455	173,2	1,147	0,395	1,825	0,629
Разм.	%	%	%	-	-	-	%	Вт/(°C м)	Вт/(°C м)	Вт/(м ² К)	Вт/(м ² К)
Обозн.	$t_{пом}^{\phi}$	$R_{п}$	$\Delta Q_{п}$	$\delta Q_{п}$	$\Delta K_{п}$	$\delta K_{п}$	$\Delta K_{с}$	$\delta K_{с}$	$G_{с}$	$Q_{сф}$	$Q_{сн}^{вх}$
Изм. Пр.	20,0	0,058	0,594	158,9	0,683	172,8	1,087	172,8	149,3	7,07	7,52
Изм. Об.	20,0	0,065	0,701	187,5	0,820	207,3	1,305	207,3	149,3	7,07	7,57
Отчёт.	20,0	0,062	0,648	173,2	0,751	190,1	1,196	190,1	149,3	7,07	7,54
Разм.	°C	-	МВт	%	Вт/(°C м)	%	Вт/(м ² К)	%	т/ч	МВт	МВт
Обозн.	$P_{тс}$	$Q_{сф}^{потр}$	$K_{об} F_{об}$	$K_{лф} L_{тс}$	$A_{п1}$	$A_{п2}$	$A_{п3}$	$A_{о1}$	$A_{о2}$	$A_{о3}$	c
Изм. Пр.	63629,7	6,55	0,187	0,011	171,32	17,00	176,71	175,84	-17,00	170,45	4186,8
Изм. Об.	63629,7	6,49	0,186	0,012	170,98	18,05	177,05	176,18	-18,05	170,11	4186,8
Отчёт.	63629,7	6,52	0,186	0,011	171,15	17,53	176,88	176,01	-17,53	170,28	4186,8
Разм.	-	МВт	МВт / °C	МВт / °C	кВт / °C	кВт	кВт / °C	кВт / °C	кВт	кВт / °C	Дж/(кг°K)
Обозн.	$S_{п}$	$S_{о}$	$S_{тс}$	$V_{п}$	$V_{о}$	$V_{тс}$	$L_{тс}$	$D_{тс}$	$F_{тс}$		
Изм. Пр.	3140,0	3140,0	6280,0	157,0	157,0	314,0	9994,9	0,20	0,031		
Изм. Об.	3140,0	3140,0	6280,0	157,0	157,0	314,0	9994,9	0,20	0,031		
Отчёт.	3140,0	3140,0	6280,0	157,0	157,0	314,0	9994,9	0,20	0,031		
Разм.	м ²	м ²	м ²	м ³	м ³	м ³	м	м	м ²		

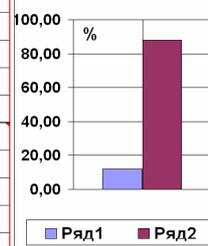


Рис. 8.1. Фрагмент из файла ФаТс1.

В новых инструкциях Союзтехэнерго [30, 31] этот принцип [33] использован применительно к интегральным показателям – удельным расходам топлива на электростанциях и котельных. В результате этого разделы 3, 4 инструкции [111] были отменены. Здесь следует заметить, что оценка резервов экономии топлива на основании интегральных показателей (функций), например, таких, как удельные расходы топлива $b_{э,тэ}$, не корректна. Последние являются функциями независимых переменных Π_i , т. е. $b_{э,тэ} = f(\Pi_i)$. Следовательно, начальные резервы экономии топлива (при $\mu = 0$) определяются отклонениями аргументов Π_i от их номинальных величин, т. е. $\Delta \Pi_i^0 = \Pi_{нри}^0 - \Pi_{ни}$. Тогда согласно формуле (8.17) при $\mu = 0$ $\Delta \Pi_i^0 = \Pi_{нри}^0 - \Pi_{ни} = \Pi_{ни} R_i$, т. е. коэффициент резерва экономии топлива по аргументу Π_i составляет долевое отклонение: $R_i = \Delta \Pi_{нри}^0 / \Pi_{ни}$.

Анализ режимов работы теплосети.												
НПК1	Реж.1	5,00	4,67	4,33	4,00	3,67	3,33	3,00	2,67	2,33	2,00	
Сох. Мод	От	Расч. Реж.1			Сохранить: T1, График			Уд. нак. P1	Уд. граф. T1, Гр			До
Вос.Мод	Реж.2	5,00	4,67	4,33	4,00	3,67	3,33	3,00	2,67	2,33	2,00	
	От	Расч. Реж.2			Сохранить: T2, График			Уд. нак. P2	Уд. граф. T2, Гр			До
Показатели эффективности работы теплосети. Построение графиков.												
Реж.1	1	2	3	4	5	6	7	Q _{пф} , МВт	0,807	q _{пф} , %	21,91	
Реж.2	1	2	3	4	5	6	7		0,687		29,51	
Обозн.	t ^{ср} _п	t ^{ср} _о	G ^{вх}	G _{уф}	t ^ф _{нв}	t _{хв}	Δt _п	t _п ^{вх}	t _п ^{вх}	t _о ^{вх}	t _о ^{вх}	
Реж. 1.	110,0	55,0	50,0	5,0	0,0	5,00	4,00	112,0	108,0	55,9	54,1	
Реж. 2.	90,0	50,0	40,0	7,0	10,0	10,00	2,00	91,0	89,0	50,3	49,7	
Разм.	°С	°С	т/ч	т/ч	°С	°С	°С	°С	°С	°С	°С	
Обозн.	t ^ф _{пом}	Δt _о	G _с	W ^п _{тс}	Q ^п _{пф}	Q ^п _{оф}	Q ^п _ф	Q ^п _{уф}	Q ^о _{уф}	Q _{уф}	Q ^п _{пф}	
Реж.1	20,0	1,866	47,5	0,225	0,241	0,115	0,356	0,305	0,145	0,451	0,547	
Реж.2	20,0	0,691	36,5	0,173	0,130	0,069	0,198	0,326	0,163	0,488	0,455	
Разм.	°С	°С	т/ч	м /с	МВт	МВт	МВт	МВт	МВт	МВт	МВт	
Обозн.	Q ^о _{пф}	Q _{пф}	Q ^{вх} _{сф}	Q ^{потр} _{сф}	Q ^п _н	G _{уф}	Q _{уф}	Q _{пн}	q _{пф}	q _{пн}	q _{сф}	
Реж.1	0,260	0,807	3,683	2,876	0,306	1,463	0,132	0,438	35,624	30,604	41,536	
Реж.2	0,231	0,687	2,328	1,641	0,266	1,463	0,102	0,368	19,833	26,560	23,124	
Разм.	МВт	МВт	МВт	МВт	МВт	т/ч	МВт	МВт	Вт/м	Вт/м	Вт/м ²	
Обозн.	q _{сн}	q _{пф}	q ^ф _{пн}	10 ⁶ χ _{тсф}	10 ⁶ χ ^ф _{тсн}	K _ф	K _{пн}	K _{сф}	K _{сн}	t ^{ср} _{пф}	t ^{ср} _{пн}	
Реж.1	35,683	21,908	11,890	1,495	0,812	0,460	0,395	0,536	0,460	5,00	5,00	
Реж.2	30,968	29,506	15,798	2,014	1,078	0,305	0,409	0,356	0,476	5,00	5,00	
Разм.	Вт/м ²	%	%	-	-	Вт/(°С м)	Вт/(°С м)	Вт/(м ² К)	Вт/(м ² К)	°С	°С	
Обозн.	Δt _ф	Δt _н	K _Q	K _K	S _п	S _о	S _{тс}	V _п	V _о	V _{тс}	L _{тс}	
Реж.1	77,5	77,5	1,164	1,164	4288,3	4288,3	8576,5	292,7	292,7	585,3	10000,0	
Реж.2	65,0	65,0	0,747	0,747	4288,3	4288,3	8576,5	292,7	292,7	585,3	10000,0	
Разм.	°С	°С	-	-	м ²	м ²	м ²	м ³	м ³	м ³	м	
Обозн.	D _{тс}	F _{тс}	П _{тс}	L _{тс} /D _{тс}	β _{уф}	β _{пн}	ΔG _у	ΔQ _у	ΔQ ^п _т	ΔQ _т	δG _у	
Реж.1	0,27	0,059	46638,8	66,6	0,559	0,301	3,537	0,319	0,050	0,369	241,7	
Реж.2	0,27	0,059	46638,8	348,2	0,711	0,278	5,537	0,386	-0,067	0,319	378,3	
Разм.	м	м ²	-	-	-	-	т/ч	МВт	МВт	МВт	%	
Обозн.	δQ _у	δQ ^п _т	δQ _т	P ^п _ф	P ^у _ф	P ^п _н	P ^у _н	K _{пф} L _{тс}	K _{об} F _{об}	R _с	B _{п1}	
Реж.1	241,7	16,4	84,3	44,1	55,9	69,9	30,1	0,005	0,144	0,032	20824930	
Реж.2	378,3	-25,3	86,8	28,9	71,1	72,2	27,8	0,003	0,164	0,019	12666489	
Разм.	%	%	%	%	%	%	%	МВт / °С	МВт / °С	-	т*м ² °С/ч	
Обозн.	B _{п2}	B _{о1}	B _{о2}	с								
Реж.1	5628360	10452668	2680171	4186,8								
Реж.2	12757615	7381192	6754032	4186,8								
Разм.	т*м ² °С ² /ч	т*м ² °С/ч	т*м ² °С ² /ч	Дж/(кг°К)								

Рис. 8.2. Фрагмент из файла НПК1.

Анализ независимых аргументов Π_i открывает широкие возможности изучения факторного воздействия их на значения любых интегральных показателей. В частности, имеются в виду удельные расходы топлива на электростанциях, теплотери в сетях, показатели режимов работы системы теплоснабжения в целом и т. д. В инструкциях Союзтехэнерго [30, 31] принцип [33] рекомендуется, к сожалению, только для интегральных показателей – удельных расходов топлива.

Следует заметить, что принцип планового освоения резервов тепловой экономичности [30 – 33], применяемый Союзтехэнерго к электростанциям и котельным, не используется в действующих инструкциях [112, 113] того же Союзтехэнерго применительно к теплосетям. Как видно, сделав один шаг вперед [30 – 33] к электростанциям и котельным, Союзтехэнерго не сделал аналогичного шага в сторону родственной области теплоэнергетики – к системе теплоснабжения [112, 113]. БЭРН всецело унаследовал [114, 115] метод Союзтехэнерго и этим самым проявил известную меру консерватизма. В отличие от учёта коэффициентов резерва эффективность теплотери рекомендуется оценивать с помощью так называемого «коэффициента техниче-

ского состояния теплоизоляции K ». Он представляет собой отношение фактических теплопотерь Q_{ϕ} к нормативным $Q_{нр}$, т. е.

$$K = Q_{\phi} / Q_{нр} = \Pi_{\phi} / \Pi_{нр} . \quad (8.18)$$

С другой стороны, согласно (8.18) коэффициент « K » представляет собой соотношение между коэффициентами теплопередачи $K_{\phi} / K_{нр}$ и температурными напорами $\Delta\tau_{\phi} / \Delta\tau_{нр}$ через поверхности сетей, т. е.

$$K = Q_{\phi} / Q_{нр} = K_{\phi} \Delta\tau_{\phi} / (K_{нр} \Delta\tau_{нр}) . \quad (8.19)$$

Очевидно, что техническое состояние теплоизоляции характеризуется только соотношением коэффициентов теплопередачи $K_{\phi} / K_{нр}$. Соотношение температурных напоров $\Delta\tau_{\phi} / \Delta\tau_{нр}$ в уравнении (8.19) характеризует лишь интенсивность процессов теплообмена, выраженную в виде теплопотерь. Следовательно, рекомендуемый инструкциями [112 – 115] коэффициент « K » в качестве показателя эффективности работы теплосетей не выдерживает критики.

Следуя общему положению [30, 31] о соотношениях между показателями $\Pi_{нр}$ и $\Pi_{н}$ согласно формуле (8.17) «коэффициент технического состояния теплоизоляции K » в отличие от формулы (8.18) следует записать так:

$$K = K_{\phi} / K_{нр} = K_{\phi} \{K_{н} [1 + R(1 - \mu)]\}^{-1} . \quad (8.20)$$

Это означает, что в теплосетях так же, как и применительно к электростанциям и котельным, согласно инструкциям [30,31] можем записать:

$$K_{нр} = K_{н} [1 + R(1 - \mu)] . \quad (8.21)$$

Соответственно эффект за счёт изменения изоляции теплосетей, т. е. их технического состояния определится, исходя из отклонения фактического коэффициента теплопередачи от нормативного: $\Delta K_s = K_{s\phi} - K_{sнр}$.

На основании изложенного следует, что методические указания [112, 113] и [114, 115] должны быть пересмотрены и доведены до уровня работ [30 – 33].

Фактическая эффективность работы теплосетей (в частности, водяных) определяется в основном тремя не зависящими друг от друга факторами: качеством изоляции, плотностью теплосетей и качеством теплоносителя.

Из учёта теплового баланса потерь теплоты через изоляцию трубопроводов и с утечками в теплосети имеем:

$$Q_{пот} = Q_{тп} + Q_{то} + Q_y = Q_T + Q_y . \quad (8.22)$$

Для оценок эффективности изоляции и уровня утечек воды в теплосети целесообразно использовать следующие коэффициенты:

$$P_s = K_{s\phi} / K_{снр} ; \quad (8.23)$$

$$P_y = G_{y\phi} / G_{yнр} ; \quad (8.24)$$

в целом – по изоляции и утечкам:

$$P_{\text{Тс}} = (P_{\text{S}}Q_{\text{Тф}} + P_{\text{Y}}Q_{\text{Yф}})(Q_{\text{Тф}} + Q_{\text{Yф}})^{-1}, \quad (8.25)$$

где $K_{\text{Sф}}$ и $K_{\text{Sнр}}$ – фактический и нормативный коэффициенты теплопередачи через поверхность (S) теплоизоляции в теплосетях; $Q_{\text{Тф}}$, $Q_{\text{Yф}}$ – фактические потери теплоты через теплоизоляцию и с утечкой воды.

Практический интерес представляют фактические и нормативные (индексы «ф» и «нр» опускаем) значения плотностей тепловых потоков, поступающих через изоляцию теплопроводов q_{S} , с утечками воды q_{Y} и удельных потоков теплоэнергии q_{F} , циркулирующей в теплосети [116]:

$$\left. \begin{aligned} q_{\text{S}} &= Q_{\text{T}} S_{\text{Тс}}^{-1}, \\ q_{\text{Y}} &= Q_{\text{Y}} S_{\text{Тс}}^{-1}, \\ q_{\text{F}} &= Q_{\text{Тс}} F_{\text{Тс}}^{-1}, \end{aligned} \right\} \quad (8.26)$$

где $S_{\text{Тс}}$ и $F_{\text{Тс}}$ – виртуальные значения поверхности теплосетей и сечения для прохода теплоносителя.

Оценку эффективности работы теплосети на основании её виртуальных размеров по аналогии с одиночной трубой согласно (8.3), (8.4), (8.26) определим так:

$$\chi_{\text{Тс}} = \frac{Q_{\text{Пот}} D_{\text{Тс}}}{Q_{\text{Тс}} L_{\text{Тс}}} = \frac{Q_{\text{Пот}} 16\pi V_{\text{Тс}}^2}{Q_{\text{Тс}} S_{\text{Тс}}^3} = \frac{(q_{\text{S}} + q_{\text{Y}}) 16\pi V_{\text{Тс}}^2}{Q_{\text{Тс}} S_{\text{Тс}}^2}. \quad (8.27)$$

Рассматриваемый вариант анализа сравнительной эффективности работы теплосетей основан на сопоставлении между собой фактических ($\Pi_{\text{ф}}$) и нормативных ($\Pi_{\text{нр}}$) значений аргументов, определяющих тот или иной технологический процесс. В свою очередь нормативные ($\Pi_{\text{нр}}$) показатели следует вычислять по формуле (8.17) с учётом коэффициента резерва R по установленным номинальным ($\Pi_{\text{н}}$) показателям. Значения последних в ряде устанавливаются либо путём расчётов, либо путём прямых измерений, либо на основании уравнений регрессии, основанных на статистической обработке опытных данных. В частности, значения температур прямой $t_{\text{н}}^{\text{ср}}$ и обратной $t_{\text{о}}^{\text{ср}}$ сетевой воды устанавливаются так: фактические – путём измерений, а номинальные на основании утверждённых графиков. Аналогичным образом определяются фактические и номинальные значения утечек сетевой воды.

Что касается коэффициентов теплопередачи через изоляцию теплосетей, то решение этой задачи требует дальнейших существенных доработок. Исходя из виртуальных размеров теплосетей ($S_{\text{Тс}}$, $L_{\text{Тс}}$) и среднеинтегрального температурного напора $\Delta t_{\text{из}}$ между теплоносителями и окружающей средой с температурой $t_{\text{окр}}$, фактические теплотери можно ориентировочно

вычислять на основании теплового баланса между теплоисточником и потребителем. Расчётная формула по определению фактических и номинальных значений коэффициентов теплопередачи по сети в целом (индексы «ф» и «н» опускаем) имеет вид:

$$K_s = \{Q_{\text{пот}} - cG_y[0,5(t_{\text{п}}^{\text{cp}} + t_{\text{о}}^{\text{cp}}) - t_{\text{хв}}]\}[0,5(t_{\text{п}}^{\text{cp}} + t_{\text{о}}^{\text{cp}}) - t_{\text{окр}}]^{-1} S_{\text{тс}}^{-1}, \quad (8.28)$$

где $\Delta\tau_{\text{из}} = 0,5(t_{\text{п}}^{\text{cp}} + t_{\text{о}}^{\text{cp}}) - t_{\text{окр}}$, $t_{\text{хв}}$ – температура холодной добавочной воды, восполняющей потери в сети с утечками.

Величину номинального значения коэффициента теплопередачи (инд. «н») можно вычислить также и на основании виртуальных размеров теплосетей, т.е. протяжённости $L_{\text{тс}}$ и поверхности $S_{\text{тс}}$ по номинальной линейной плотности теплопотерь $q_{\text{лн}}$ так:

$$K_{\text{сн}} = q_{\text{лн}} L_{\text{тс}} (S_{\text{тс}} \Delta\tau_{\text{из}}^{\text{н}})^{-1} = K_{\text{лн}} L_{\text{тс}} S_{\text{тс}}^{-1}, \quad (8.29)$$

где в отличие от $\Delta\tau_{\text{из}}$ показатель $\Delta\tau_{\text{из}}^{\text{н}}$ представляет собой нормативное значение температурного напора в сети.

В основе модели исследуемой сети лежат два условия, которые, судя по опыту эксплуатации, близки к истине:

- характер падения температур в прямых и обратных теплопроводах принимается линейным;
- вероятность утечек воды в прямых и обратных теплопроводах равна порядка 0,5.

Решение задачи при таких граничных условиях позволяет в качестве исходных данных рассматривать два варианта:

Вариант 1, в котором перепады температур в прямой ($\Delta t_{\text{п}} = \Delta t_{\text{п}}^{\text{изм}}$) и обратной ($\Delta t_{\text{о}} = \Delta t_{\text{о}}^{\text{изм}}$) сети заданы. В этом случае из учёта законов сохранения предоставляется возможность корректирования отчётной величины теплопотерь.

Вариант 2, в котором за исходную величину, характеризующую степень охлаждения воды в сети принимается только перепад $\Delta t_{\text{п}} = \Delta t_{\text{п}}^{\text{изм}}$, а соответствующие показатели $\Delta t_{\text{о}} = \Delta t_{\text{о}}^{\text{изм}}$ и величина теплопотерь вычисляются.

По условиям вероятности 0,5 считаем, что утечки сетевой воды в прямой и обратной сети одинаковы. Кроме того, в качестве контрольного показателя целесообразно использовать величину перепада температур обоих теплоносителей от входа до выхода, т.е. степени охлаждения прямой и обратной воды в теплосети:

$$\Delta t_{\text{п}} = t_{\text{п}}^{\text{вх}} - t_{\text{п}}^{\text{вых}}, \quad (8.30)$$

$$\Delta t_{\text{о}} = t_{\text{о}}^{\text{вх}} - t_{\text{о}}^{\text{вых}}, \quad (8.31)$$

где $t_{\text{о}}^{\text{вх}}$ – температура обратной сетевой воды со стороны потребителя; $t_{\text{о}}^{\text{вых}}$ – то же на входе в энергоисточник.

Значения Δt_{Π} и Δt_o определим на основании уравнений тепловых балансов, составленных для прямой и обратной теплосети таким образом:

в прямой сети:

$$Q_{T\Pi} = c[G_{\Pi}^{BX} t_{\Pi}^{BX} - (G_{\Pi}^{BX} - 0,5G_y)t_{\Pi}^{BЫX}]; \quad (8.32)$$

в обратной сети:

$$Q_{To} = c[(G_{\Pi}^{BX} - 0,5G_y)t_o^{BX} - (G_{\Pi}^{BX} - G_y)t_o^{BЫX}], \quad (8.33)$$

где $Q_{T\Pi} + Q_{To} = Q_T$ – теплопотери через поверхности изоляции в прямых и обратных трубопроводах.

Средние значения температур прямой и обратной сетевой воды:

$$t_{\Pi,o}^{cp} = 0,5(t_{\Pi,o}^{BX} + t_{\Pi,o}^{BЫX}). \quad (8.34)$$

В результате совместного решения (8.30) – (8.32) определяем:

$$\Delta t_{\Pi} = t_{\Pi}^{BX} - t_{\Pi}^{BЫX} = (cG_y t_{\Pi}^{cp} + 2Q_{T\Pi})(2G_{\Pi}^{BX} - 0,5G_y)^{-1} c^{-1}; \quad (8.35)$$

$$\Delta t_o = t_o^{BX} - t_o^{BЫX} = 2Q_{To}(2G_{\Pi}^{BX} - 0,5G_y)^{-1} c^{-1}. \quad (8.36)$$

Надёжность и положительная результативность изложенного метода анализа эффективности работы теплосетей во многом определяется степенью достоверности исходных (отчётных) данных по значениям исследуемых аргументов. Как правило, среди них наибольшим сомнениям подвергается абсолютная величина фактических теплопотерь. Поэтому в процессе расчётов необходима организация соответствующего технологического контроля, на основании которого можно судить о степени достоверности выполненного анализа. В частности, в условиях эксплуатации диапазон изменения фактических перепадов температур $\Delta t_{\Pi} = \Delta t_{\Pi ф}$ и $\Delta t_o = \Delta t_{o ф}$ хорошо известен. Поэтому явное отличие расчётных значений Δt_{Π} и Δt_o , вычисленных по формулам (8.35), (8.36) от реально существующих может оказаться достаточным признаком недостоверности тех или иных исходных данных и, в первую очередь, теплопотерь $Q_{Tф}$ и $Q_{Toф}$, т. к. в отличие от остальных аргументов (t_{Π}^{cp} , t_o^{cp} , G_y , G_{Π}^{BX}) они не определяются путём прямых измерений. В данном случае целесообразно также сравнивать расчётные показатели Δt_{Π} и Δt_o с аналогичными значениями $\Delta t_{\Pi н}$ и $\Delta t_{o н}$, вычисленными на основании базовых (номинальных) аргументов, учитываемых при определении коэффициентов резерва экономии топлива.

В порядке организации того же технологического контроля связь между температурами t_{Π}^{BX} , $t_{\Pi}^{BЫX}$ и t_o^{BX} , $t_o^{BЫX}$ можно определить иначе, например, путём использования расчётных формул, содержащих коэффициент теплопередачи K_s через изоляцию труб в прямой ($S_{\Pi} \approx 0,5S_{Tc}$) и обратной ($S_o \approx 0,5S_{Tc}$) теплосети, рассуждая таким образом:

а) связь между потоками теплоты на входе в прямую теплосеть со стороны энергоисточника $E_{\Pi}^{BX} = cG_{\Pi}^{BX}t_{\Pi}^{BX}$, теплопотерями на трассах прямых трубопроводов через изоляцию $Q_{T\Pi} = K_s S_{\Pi} [0,5(t_{\Pi}^{BX} + t_{\Pi}^{BЫX}) - t_{окр}]$, с утечками воды $Q_{y\Pi} = 0,5cG_y [0,5(t_{\Pi}^{BX} + t_{\Pi}^{BЫX}) - t_{XB}]$ и потоком теплоты, доставляемой потребителю из прямой теплосети $E_{\Pi}^{BЫX} = c(G_{\Pi} - 0,5G_y)t_{\Pi}^{BЫX}$ определим так: $E_{\Pi}^{BX} = Q_{T\Pi} + Q_{y\Pi} + E_{\Pi}^{BЫX}$, т. е. :

$$cG_{\Pi}^{BX}t_{\Pi}^{BX} = K_s S_{\Pi} [0,5(t_{\Pi}^{BX} + t_{\Pi}^{BЫX}) - t_{окр}] + \left. \begin{aligned} &+ 0,5cG_y [0,5(t_{\Pi}^{BX} + t_{\Pi}^{BЫX}) - t_{XB}] + c(G_{\Pi}^{BX} - 0,5G_y)t_{\Pi}^{BЫX}; \end{aligned} \right\} \quad (8.37)$$

б) связь между потоками теплоты на входе в обратную теплосеть со стороны потребителя $E_o^{BX} = c(G_{\Pi}^{BX} - 0,5G_y)t_o^{BX}$, теплопотерями на трассах обратных трубопроводов через изоляцию $Q_{To} = K_s S_o [0,5(t_o^{BX} + t_o^{BЫX}) - t_{окр}]$, с утечками воды $Q_{yo} = 0,5cG_y [0,5(t_o^{BX} + t_o^{BЫX}) - t_{XB}]$ и потоком теплоты, принимаемой на коллекторах энергоисточника из обратной теплосети $E_o^{BЫX} = c(G_{\Pi}^{BX} - G_y)t_o^{BЫX}$ определим так: $E_o^{BX} = Q_{To} + Q_{yo} + E_o^{BЫX}$, т. е.:

$$c(G_{\Pi}^{BX} - 0,5G_y)t_o^{BX} = K_s S_o [0,5(t_o^{BX} + t_o^{BЫX}) - t_{окр}] + \left. \begin{aligned} &+ 0,5cG_y [0,5(t_o^{BX} + t_o^{BЫX}) - t_{XB}] + c(G_{\Pi}^{BX} - G_y)t_o^{BЫX}, \end{aligned} \right\} \quad (8.38)$$

На основании (8.37), (8.38) определяем отличные от (8.35), (8.36) взаимосвязи между температурами t_{Π}^{BX} , $t_{\Pi}^{BЫX}$ и t_o^{BX} , $t_o^{BЫX}$ выраженные в зависимости от коэффициента теплопередачи в сети так:

$$t_{\Pi}^{BЫX} = \frac{t_{\Pi}^{BX} [c(G_{\Pi}^{BX} - 0,25G_y) - 0,5K_s S_{\Pi}] + K_s S_{\Pi} t_{окр} + 0,5cG_y t_{XB}}{c(G_{\Pi}^{BX} - 0,25G_y) + 0,5K_s S_{\Pi}}, \quad (8.39)$$

$$t_o^{BX} = \frac{t_o^{BЫX} [c(G_{\Pi}^{BX} - 0,75G_y) + 0,5K_s S_o] - K_s S_o t_{окр} - 0,5cG_y t_{XB}}{c(G_{\Pi}^{BX} - 0,75G_y) - 0,5K_s S_o}. \quad (8.40)$$

Технологический контроль показателей Δt_{Π} и Δt_o по формулам (8.35), (8.36) и (8.39), (8.40) на основании нормативных аргументов также гарантирует эффективность работ по формированию плановых мероприятий, направленных на освоение имеющихся резервов.

Результаты теплофизических расчётов показывают, что различия между коэффициентами теплопередачи в прямых и обратных трубопроводах не существенные. Поэтому согласно уравнениям теплопередачи для трубопроводов прямой и обратной сетевой воды потери теплоты через теплоизоляцию, входящие в формулы (8.35), (8.36), можно вычислять так:

$$Q_{\text{ТП,ТО}} = K_s S_{\text{П,О}} (t_{\text{П,О}} - t_{\text{ОКР}}). \quad (8.41)$$

где K_s – коэффициент теплопередачи, вычисляемый по формуле (8.28): $K_s = f(Q_T, t_{\text{П}}, t_{\text{О}}, t_{\text{Х}}, t_{\text{ОКР}})$; $S_{\text{П,О}}$ – поверхности трубопроводов прямой и обратной сетевой воды; В большинстве случаев $S_{\text{П,О}} \approx 0,5S_{\text{ТС}}$.

Материалы исследования, изложенные выше, позволили разработать комплекс программных средств ФаТс1 ÷ ФаТс5, позволяющих (согласно Варианту 1) по измеренным перепадам температур $\Delta t_{\text{П}} = \Delta t_{\text{П}}^{\text{ИЗМ}}$ и $\Delta t_{\text{О}} = \Delta t_{\text{О}}^{\text{ИЗМ}}$, т. е. на основании замкнутой системы уравнений с учетом формул (8.35), (8.36), (8.39), (8.40) и пр., корректировать отчётные значения фактических теплопотерь $Q_{\text{ТФ}}$ через изоляцию теплосети. При этом имеется в виду, что фактические теплопотери за счёт утечек воды $Q_{\text{УФ}}$ вычисляются на основании замеров массовых потерь $G_y = G_{\text{УФ}}$.

На рис. (8.1) дана фрагмент рабочего листа из файла ФаТс1. Здесь в качестве исходных данных используются показания штатных приборов, установленных на энергоисточнике и, в частности, осреднённые по сети значения перепадов температур (по Варианту 1) $\Delta t_{\text{П}} = \Delta t_{\text{П}}^{\text{ИЗМ}}$ и $\Delta t_{\text{О}} = \Delta t_{\text{О}}^{\text{ИЗМ}}$ от входа до выхода,

Согласно (8.30) – (8.32) определим средние значения температур в сети так:

$$t_{\text{П,О}}^{\text{ВХ}} = t_{\text{П,О}}^{\text{СР}} + 0,5\Delta t_{\text{П,О}}, \quad (8.42)$$

$$t_{\text{П,О}}^{\text{ВЫХ}} = t_{\text{П,О}}^{\text{СР}} - 0,5\Delta t_{\text{П,О}}, \quad (8.43)$$

В результате совместного решения (8.39), (8.40) и (8.42), (8.43) определяем (согласно Варианту 2):

$$\Delta t_{\text{О}} = \Delta t_{\text{П}} (B_{\text{О1}} + B_{\text{О2}} - B_{\text{П2}}) B_{\text{П1}}^{-1}, \quad (8.44)$$

где

$$B_{\text{П1}} = S_{\text{П}} (G_{\text{П}}^{\text{ВХ}} - 0,75G_y) (t_{\text{П}}^{\text{СР}} - t_{\text{ОКР}}),$$

$$B_{\text{П2}} = 0,5G_y S_{\text{П}} t_{\text{ХВ}} (t_{\text{П}}^{\text{СР}} - t_{\text{ОКР}}),$$

$$B_{\text{О1}} = S_{\text{О}} (G_{\text{П}}^{\text{ВХ}} - 0,25G_y) (t_{\text{О}}^{\text{СР}} - t_{\text{ОКР}}),$$

$$B_{\text{П2}} = 0,5G_y S_{\text{О}} t_{\text{ХВ}} (t_{\text{О}}^{\text{СР}} - t_{\text{ОКР}}).$$

На основании такой постановки задачи (по Варианту 2) разработан программный файл НПК1, позволяющий вычислять фактические значения теплопотерь в сетях с канальной, бесканальной и воздушной прокладками по заданному значению показателя $\Delta t_{\text{П}} = \Delta t_{\text{П}}^{\text{ИЗМ}}$. При этом перепад температуры $\Delta t_{\text{О}} = \Delta t_{\text{О}}^{\text{ИЗМ}}$ согласно формуле (8.44) вычисляется как функция показателя $\Delta t_{\text{П}} = \Delta t_{\text{П}}^{\text{ИЗМ}}$. Также, как и в файлах ФаТс1 ÷ ФаТс5, в качестве исходных дан-

ных используются следующие показатели: средние температуры воды в прямой (t_{Π}^{cp}) и обратной (t_o^{cp}) теплосети; массовая подача воды от энергоисточника (G_{Π}^{BX}) в прямую сеть; величина утечки сетевой воды ($G_{y\phi}$); температуры наружного воздуха ($t_{\text{НВ}}^{\phi}$) и холодной добавочной воды ($t_{\text{ХВ}}$) в сеть; охлаждение воды (Δt_{Π}) в прямой теплосети. На рис. (8.2) дана фрагмент из рабочего листа программного файла НПК1.

Алгоритмы пакетов программ ФаТс1 ÷ ФаТс5 и НПК1 основаны на виртуальных размерах теплосети, Это позволило также учесть её особенности при расчётах фактических и нормативных теплопотерь в канальной, бесканальной и при воздушной прокладках теплопроводов.

В порядке альтернативы проанализируем температурный режим работы теплосети с учётом измерения утечек и охлаждения воды за счёт теплопотерь. В качестве исходных данных принимаем размеры трубопроводов, показания штатных приборов и результаты теплофизических расчётов теплопотерь через их изоляцию, а именно:

– t_{Π}^{BX} , $t_o^{ВЫХ}$ и G_{Π}^{BX} , $G_o^{ВЫХ}$ – температуры и массовые расходы прямой (инд. «п») и обратной (инд. «о») сетевой воды со стороны теплоисточника, т.е. прямой – на входе (инд. «вх») и обратной – на выходе (инд. «вых»);

– $G_{\text{вод}}$ – санкционированный отбор сетевой воды потребителем;

– $t_{\text{ХВ}}$ – температура холодной добавочной воды для восполнения потерь с утечками и санкционированного отбора;

– $L_{\Pi,о}$, $L_{\text{ТС}}$ – виртуальная длина прямого, обратного участков теплосети, а также теплосети в целом. Причём, согласно (8.1) – (8.3) при $S_{\Pi,о} \approx 0,5S_{\text{ТС}}$ и $V_{\Pi,о} \approx 0,5V_{\text{ТС}}$ $L_{\Pi} + L_o \approx L_{\text{ТС}}$ и наоборот.

– q_{Π}^{cp} и q_o^{cp} – средние по длине сети удельные теплопотери в прямом и обратном трубопроводах:

$$q_{\Pi,о}^{cp} = 0,5(q_{\Pi,о}^{BX} + q_{\Pi,о}^{ВЫХ}). \quad (8.45)$$

Абсолютную величину утечки сетевой воды (не считая санкционированного отбора $G_{\text{отб}}$) представим как разность:

$$G_y = G_{\Pi}^{BX} - G_{\Pi}^{ВЫХ} - G_{\text{вод}} = G_y^{\Pi} + G_y^o, \quad (8.46)$$

где массовые потери прямой и обратной сетевой воды выразим как долевые ($n = G_y^{\Pi} / G_y$) части от суммарных потерь G_y , т.е.

в прямой

$$G_y^{\Pi} = n G_y = G_{\Pi}^{BX} - G_{\Pi}^{ВЫХ}$$

и в обратной

$$G_y^o = (1 - n) G_y = G_o^{BX} - G_o^{ВЫХ} . \quad (8.47)$$

Соответственно средний расход воды по трубопроводам:
прямой

$$\left. \begin{aligned} G_{\Pi}^{\text{cp}} &= 0,5(G_{\Pi}^{\text{BX}} + G_{\Pi}^{\text{BЫX}}) = G_{\Pi}^{\text{BX}} - 0,5nG_y \\ \text{и обратной} \\ G_{\text{O}}^{\text{cp}} &= 0,5(G_{\text{O}}^{\text{BX}} + G_{\text{O}}^{\text{BЫX}}) = G_{\text{O}}^{\text{BX}} - 0,5(1-n)G_y. \end{aligned} \right\} \quad (8.48)$$

На основании уравнения теплового баланса определяем температуры прямой и обратной сетевой воды со стороны потребителя:

$$\left. \begin{aligned} t_{\Pi}^{\text{BЫX}} &= t_{\Pi}^{\text{BX}} - q_{1\Pi}^{\text{cp}} L_{\Pi} (cG_{\Pi}^{\text{cp}})^{-1} \\ t_{\text{O}}^{\text{BX}} &= t_{\text{O}}^{\text{BЫX}} + q_{1\text{O}}^{\text{cp}} L_{\text{O}} (cG_{\text{O}}^{\text{cp}})^{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (8.49)$$

Аналогично с учётом (8.34) и на основании (8.46) – (8.48) определим средние значения температур и расходов воды в сети по показаниям штатных приборов со стороны теплоисточника в прямом и обратном трубопроводах:

$$\left. \begin{aligned} t_{\Pi}^{\text{cp}} &= t_{\Pi}^{\text{BX}} - 0,5q_{1\Pi}^{\text{cp}} L_{\Pi} (cG_{\Pi}^{\text{cp}})^{-1}, \\ G_{\Pi}^{\text{cp}} &= (1 - 0,5n)G_{\Pi}^{\text{BX}} + 0,5n(G_{\text{O}}^{\text{BЫX}} + G_{\text{Oтб}}), \\ G_{\text{O}}^{\text{cp}} &= 0,5[(1-n)(G_{\Pi}^{\text{BX}} - G_{\text{Oтб}}) + (1+n)G_{\text{O}}^{\text{BЫX}}]. \end{aligned} \right\} \quad (8.50)$$

Абсолютные значения теплотерь в сети с утечками и через теплоизоляцию трубопроводов, а также показатель плотности теплосети вычисляем по формулам:

$$\left. \begin{aligned} Q_y &= cG_y[0,5(t_{\Pi}^{\text{cp}} + t_{\text{O}}^{\text{cp}}) - t_{\text{XB}}] = q_{1y} L_{\text{TC}}, \\ Q_{\text{T}} &= (q_{1\Pi}^{\text{cp}} + q_{1\text{O}}^{\text{cp}})L_{\text{TC}} = q_1^{\text{cp}} L_{\text{TC}}, \end{aligned} \right\} \quad (8.51)$$

где q_{1y} – линейная плотность теплотерь в сетях с утечками воды.

Изложенные материалы анализа основаны на виртуальных размерах теплосети и лишь в незначительной мере выходят за пределы действующих инструкций. Здесь уместно ещё раз обратить внимание на результаты исследований, изложенных в предыдущей главе 5 (в разделе 5.3), в котором рассматривается теплофизический метод расчёта теплотерь в сетях, основанный на физических характеристиках изоляции и реальных размерах теплопроводов. Интеграция этих обоих методов расчёта и последующего анализа эффективности режимов работы теплосетей следует рассматривать, как актуальное направление в этой области теплоэнергетики, которое следует развивать в дальнейшем.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. Показано, что рекомендуемый действующими инструкциями метод оценки эффективности режимов работы теплосетей следует пересмотреть и уподобить тому, который используется применительно к электростанциям и котельным с учётом планового освоения имеющихся тепловых резервов.

2. Составлен перечень основных расчётных формул, рекомендуемых для всестороннего анализа при обработке отчётных показателей работы теплосети.

3. Предложен метод расчёта степени охлаждения сетевой воды в теплосети, как косвенный вариант оценки достоверности отчётных показателей по теплопотерям через изоляцию сетей.

4. Материалы исследования положены в основу разработки комплекса программных средств (Фатс1 ÷ Фатс5), позволяющих на основании измеренных перепадов температур $\Delta t_{\Pi}^{\text{изм}}$ и $\Delta t_0^{\text{изм}}$ корректировать отчётные фактические теплопотери в сетях.

5. Существующую систему отчетности и изложенный метод анализа режимов работы теплосетей рекомендуется совместить с теплофизическим методом аналогичного анализа, изложенным в главе 6.

8.4. Организация факторного анализа режима работы теплосети.

Факторный анализ предусматривает сопоставление количественных значений частных дифференциалов того или иного аргумента исследуемой функции по отношению к сумме их модулей. В общем виде это можно записать так:

$$\delta(\Delta_{\Pi i} \Pi) = \frac{100 d_{\Pi i} \Pi}{\sum_{i=1}^k [(d_{\Pi i} \Pi)^2]^{0,5}} = \frac{100 d_{\Pi i} \Pi}{\sum_{i=1}^k |d_{\Pi i} \Pi|}, \% \quad (8.52)$$

В формуле (8.52) Π – исследуемая функция, определяемая аргументами Π_i при значениях от $i = 1$ до $i = k$; $d_{\Pi i} \Pi = (\partial \Pi / \partial \Pi_i) d \Pi_i$ – частный дифференциал функции Π по аргументу Π_i . Соответственно полный дифференциал исследуемой функции Π запишем так:

$$d \Pi = (\partial \Pi / \partial \Pi_1) d \Pi_1 + (\partial \Pi / \partial \Pi_2) d \Pi_2 + \dots + (\partial \Pi / \partial \Pi_k) d \Pi_k. \quad (8.53)$$

Очевидно, что в соответствии с формулой (8.52) по каждой исследуемой функции Π всегда сумма абсолютных значений $\sum_{i=1}^k |\delta(\Delta_{\Pi i} \Pi)| = 100\%$.

Как уже отмечалось, в отличие от существующего порядка отчетности, предусмотренного действующими инструкциями [112 – 115], факторному анализу режимов работы теплосетей следует подвергать также показатели их эффективности согласно опубликованной методике [33], и по аналогии с действующими инструкциями [30, 31]. Целесообразность реализации этого метода на практике не вызывает сомнений и играет большую роль в стимулировании работ, направленных на освоение резервов экономии топлива. В настоящее время применение этого метода к интегральным показателям эффективности производства, например, таким, как удельные расходы топлива [30, 31] или теплопотери в сетях, следует считать не корректным, т. к. при этом исключаются возможности выявления резервов экономии топлива, свя-

Фатс5	РЕЖ.1,2	Индик.	Сопоставление откорректированных отчётных показателей $Q_{тф}$ по теплопотерям через изоляцию и перепадов температур воды $\Delta t_{пб}^{изм}$ и $\Delta t_{об}^{изм}$ в прямой и обратной сети. Оценка и анализ эффективности работы теплосети и системы теплоснабжения в целом									
Реж.1. РАСЧЁТ		ВЫП	Исходные данные и результаты расчётов.									
Реж.2. РАСЧЁТ		ВЫП										
Обозн.	$t_{п}^{ср}$	$t_{о}^{ср}$	$G_{п}^{вх}$	$G_{уф}$	$G_{ун}$	$t_{нв}^{\phi}$	$t_{кв}$	$t_{п}^{вх}$	$t_{п}^{ввх}$	$t_{о}^{вх}$	$t_{о}^{ввх}$	
Реж.1	100,0	60,0	800,0	100,000	100,475	-15,0	10,00	109,3	90,7	65,82	54,18	
Реж.2	90,0	50,0	950,0	92,000	83,326	-10,0	12,00	98,6	81,4	54,94	45,06	
Разм.	°C	°C	т/ч	т/ч	т/ч	°C	°C	°C	°C	°C	°C	
Обозн.	$\Delta t_{пр}^{изм}$	$\Delta t_{пр}^p$	$\Delta t_{об}^{изм}$	$\Delta t_{об}^p$	$Q_{тф/Пр}$	$Q_{тф/Об}$	$Q_{тф}$	$W_{тс}^p$	$Q_{тн}^{\phi}$	$\beta_{уф}$	$\beta_{ун}$	
Реж.1	18,000	18,551	12,000	11,646	26,897	28,487	27,692	1,550	16,886	0,2272	0,3263	
Реж.2	17,000	17,186	10,000	9,877	29,596	30,296	29,946	2,026	12,935	0,1717	0,3029	
Разм.	°C	°C	°C	°C	МВт	МВт	МВт	м/с	МВт	-	-	
Обозн.	$t_{грф}^c$	$t_{грн}^c$	$t_{грф}^o$	$t_{грн}^o$	$t_{нв}^{пн}$	$t_{нв}^{по}$	$t_{пом}^{\phi}$					
Реж.1	5,0	5,0	5,0	5,0	-15,0	-15,0	20,0					
Реж.2	3,0	5,0	2,0	5,0	0,0	-15,0	30,0					
Разм.	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C					
Обозн.	K_1^c	K_1^o	$K_{ин}^c$	$K_{то}^o$	$Q_{пф}$	$Q_{пн}^{\phi}$	$\Pi_{тс}$					
Реж.1	0,80	0,80	0,80	0,80	35,833	25,066	920006,1					
Реж.2	0,80	0,80	0,80	0,80	36,152	18,556	862134,8					
Разм.	-	-	-	-	МВт	МВт	-					
Обозн.	$t_{окр}^{ср}$	$R_{г}$	$\Delta G_{у}$	$\delta G_{у}$	$\Delta Q_{у}$	$\delta Q_{у}$	$\Delta Q_{т}$					
Реж.1	-0,78672	0,509	-0,475	-0,5	-0,039	-0,5	10,806					
Реж.2	-0,83515	0,579	8,674	10,4	0,585	10,4	17,010					
Разм.	°C	-	т/ч	%	МВт	%	МВт					
Обозн.	$\delta Q_{т}$	$\Delta t_{ф}$	$Q_{уф}$	$Q_{ун}$	$q_{ф}$	$q_{ин}^{\phi}$	$q_{сф}$	$\delta_{1,2} Q_{уф}$	$\delta_{1,2} Q_{тф}$	$\delta_{1,2} Q_{уф}$	$\delta_{1,2} Q_{тф}$	
Реж.1	39,0	80,8	8,141	8,180	92,6	56,48	71,27	0,00	100,00	23,16	76,84	
Реж.2	56,8	70,8	6,206	5,621	111,3	48,09	89,22	Реж.1		Реж.2		
Разм.	%	°C	МВт	МВт	Вт/м	Вт/м	Вт/м ²	%	%	%	%	
Обозн.	$K_{сн}$	$q_{пф}$	$q_{пн}^{\phi}$	$\Delta q_{п}$	$10^6 \chi_{тсф}$	$10^6 \chi_{тсн}^{\phi}$	$10^6 \Delta \chi_{тсф}$	$\delta \Delta \chi_{тсф}$	$K_{ф}$	$K_{ин}$	$K_{сф}$	
Реж.1	43,46	60,32	42,19	18,13	0,21	0,15	0,06	43,0	1,147	0,699	0,882	
Реж.2	38,54	55,32	28,39	26,92	0,20	0,10	0,10	94,8	1,572	0,701	1,260	
Разм.	Вт/м ²	%	%	%	-	-	-	%	Вт/(°C м)	Вт/(°C м)	Вт/(м ² К)	
Обозн.	$K_{сн}$	$\Delta Q_{п}$	$\delta Q_{п}$	$\Delta K_{п}$	$\delta K_{п}$	$\Delta K_{с}$	$\delta K_{с}$	$G_{с}$	$Q_{сф}^{вх}$	$Q_{сф}$	$Q_{сф}^{потр}$	
Реж.1	0,538	10,767	43,0	0,447	64,0	0,344	64,0	750,0	59,40	43,03	23,57	
Реж.2	0,562	17,596	94,8	0,871	124,1	0,698	124,1	904,0	65,35	48,26	29,20	
Разм.	Вт/(м ² К)	МВт	%	Вт/(°C м)	%	Вт/(м ² К)	%	т/ч	МВт	МВт	МВт	
Обозн.	$K_{об} F_{об}$	$K_{ф} L_{тс}$	$S_{п}$	$S_{о}$	$S_{тс}$	$V_{п}$	$V_{о}$	$V_{тс}$	$L_{тс}$	$D_{тс}$	$F_{тс}$	
Реж.1	0,673	0,343	194600,0	193964,8	388564,7	20097,8	20092,4	40190,2	298949,0	0,41	0,134	
Реж.2	0,730	0,423	167557,3	168081,3	335638,6	16663,8	16666,6	33330,4	268963,6	0,40	0,124	
Разм.	МВт / °C	МВт / °C	м ²	м ²	м ²	м ³	м ³	м ³	м	м	м ²	

Рис. 8.3. Фрагмент из файла Фатс5. Исходные данные и расчёт двух (Реж. 1,2) сопоставляемых режимов работы теплосети.

занные с отклонением от норм определяющих их аргументов. В этом можно убедиться, анализируя результаты расчётов по формуле (8.53): суммарное значение частных дифференциалов по аргументам Π_i , т. е. $d_{\Pi_i} \Pi = (\partial \Pi / \partial \Pi_i) d \Pi_i$, а следовательно и отклонение исследуемой функции $d \Pi$ может оказаться равным нулю за счёт того, что одна группа слагаемых $(\partial \Pi / \partial \Pi_i) d \Pi_i$ имеет знак плюс (+), а другая – знак минус (-). Поэтому в расчётной формуле (8.52) в числителе учитывается знак (+ или -) в соответствии с численным значением частного дифференциала $d_{\Pi_i} \Pi$, а в знаменателе – сумма их модулей, т. е. абсолютных значений со знаком плюс (+) в любом случае.

Рассмотрим вариант применения факторного анализа фактических (инд. ф) и нормативных (инд. нр) показателей режимов работы теплосетей, по аналогии с упомянутой методикой [30 – 33] по отношению к интегральным показателям – удельным расходам топлива. Считаем, что используемые в расчётах коэффициенты резервов экономии топлива адекватны соответст-

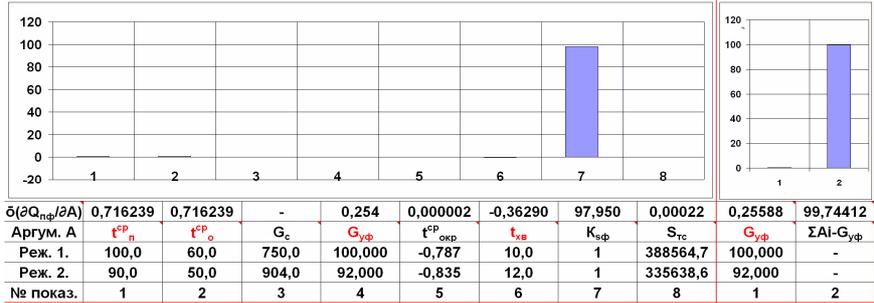
Факторный анализ изменения суммарных теплотерь $Q_{нф}$ в сети и отпуска теплоты $Q_{сф}$ при переходе от режима 1 к режиму 2 с адекватными изменениями определяющих аргументов А.

$$Q_{сф} = c \{ G_c (t^{ср}_н - t^{ср}_о) + G_{уф} [0,5 (t^{ср}_н + t^{ср}_о) - t_{вв}] \} 3,6 \cdot 10^{-6}, \text{ МВт}$$

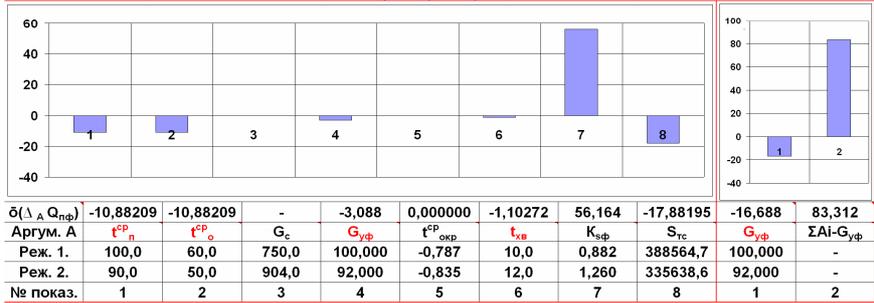
$$Q_{нф} = K_{сф} S_{тс} [0,5 (t^{ср}_н + t^{ср}_о) - t^{ср}_{окр}] 10^{-6} + \{ c G_{уф} [0,5 (t^{ср}_н + t^{ср}_о) - t_{вв}] \} 3,6 \cdot 10^{-6}, \text{ МВт}$$

Обозн.	$t^{ср}_н$	$t^{ср}_о$	G_c	$G_{уф}$	$t^{ср}_{окр}$	$t_{вв}$	$K_{сф}$	$S_{тс}$	$Q_{сф}$	$Q_{нф}$
Реж. 1.	100,0	60,0000	750,0	100,0000	-0,7867	10,0000	0,8822	388564,7	43,0	35,833
Реж. 2.	90,0	50,0000	904,0	92,0000	-0,8351	12,0000	1,2596	335638,6	48,3	36,152
Разм.	°C	°C	т/ч	т/ч	°C	°C	Вт/(м²К)	м²	т/ч	МВт
$\partial Q_{нф}/\partial A$	0,229538	0,229538	-	0,0814	0,00000	-0,11630	31,391	0,00007	-	$\Sigma \partial Q_{нф}/\partial A$
$\Delta Q_{нф}$	-2,295383	-2,295383	-	-0,6513	0,00000	-0,23260	11,847	-3,77188	-	$\Sigma \Delta Q_{нф}$
$\delta(\partial Q_{нф}/\partial A)$	0,716239	0,716239	-	0,254	0,000002	-0,36290	97,950	0,00022	-	32,0
$\delta(\Delta Q_{нф})$	-10,88209	-10,88209	-	-3,088	0,000000	-1,10272	56,164	-17,88195	-	21,1
$\partial Q_{сф}/\partial A$	0,9304	-0,813906	0,04652	0,08141	-	-0,1163	-	-	$\Sigma \partial Q_{сф}/\partial A$	-
$\Delta Q_{сф}$	-9,3040	8,139056	7,16408	-0,65128	-	-0,2326	-	-	$\Sigma \Delta Q_{сф}$	-
$\delta(\partial Q_{сф}/\partial A)$	46,7882	-40,9299	2,33941	4,093968	-	-5,848525	-	-	2,0	-
$\delta(\Delta Q_{сф})$	-36,49913	31,92911	28,10433	-2,554939	-	-0,912478	-	-	25,5	-

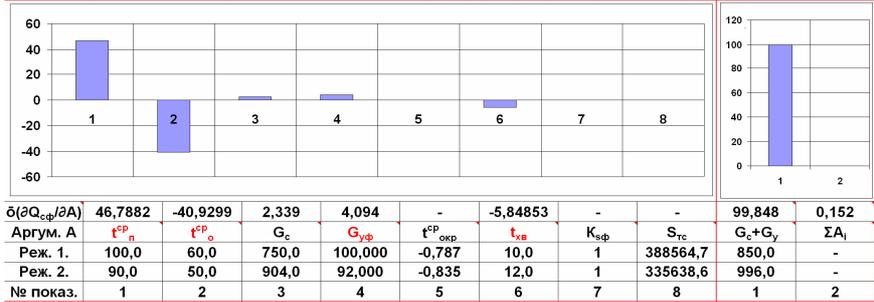
1. Степень значимости каждого из аргументов А (в % к сумме модулей их частных производных $\delta(\partial Q_{нф}/\partial A) = 100(\partial Q_{нф}/\partial A)/\Sigma \partial Q_{нф}/\partial A$), определяющих итоговое отклонение фактических теплотерь $\Delta Q_{нф} = Q_{нф2} - Q_{нф1}$ при переходе от реж.1 к реж.2.



2. Долевое влияние каждого из аргументов А (в % к сумме модулей их частных дифференциалов $\delta(\Delta Q_{нф}) = 100(\Delta Q_{нф})/\Sigma \Delta Q_{нф}$), определяющих итоговое отклонение фактических теплотерь $\Delta Q_{нф} = Q_{нф2} - Q_{нф1}$ при переходе от реж.1 к реж.2.



3. Степень значимости каждого из аргументов А (в % к сумме модулей их частных производных $\delta(\partial Q_{сф}/\partial A) = 100(\partial Q_{сф}/\partial A)/\Sigma \partial Q_{сф}/\partial A$), определяющих итоговое отклонение фактического отпуска теплоты в сеть $\Delta Q_{сф} = Q_{сф2} - Q_{сф1}$ при переходе от реж.1 к реж.2.



4. Долевое влияние каждого из аргументов А (в % к сумме модулей их частных дифференциалов $\delta(\Delta Q_{сф}) = 100(\Delta Q_{сф})/\Sigma \Delta Q_{сф}$), определяющих итоговое отклонение фактического отпуска теплоты в сеть $\Delta Q_{сф} = Q_{сф2} - Q_{сф1}$ при переходе от реж.1 к реж.2.

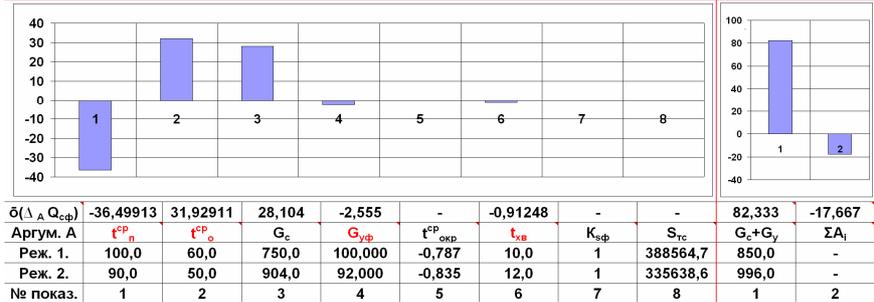


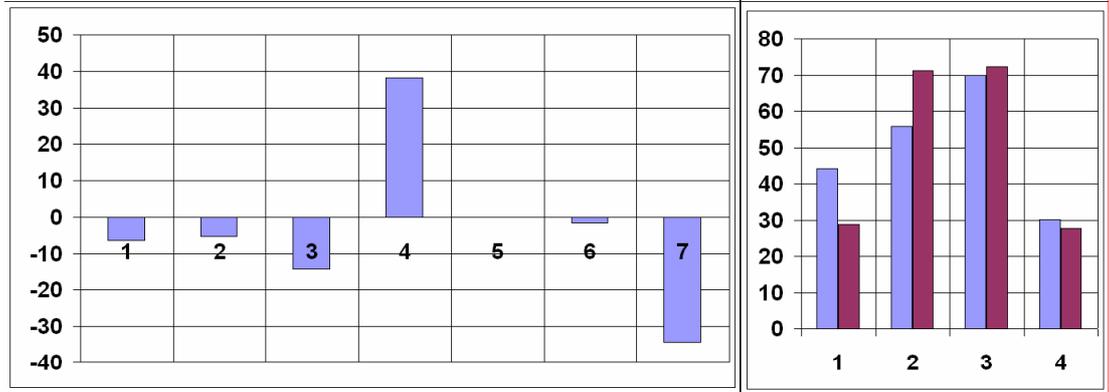
Рис. 8.4. Фрагмент из файла ФаТс5. Графическое отображение результатов факторного анализа при сопоставлении двух режимов работы теплосети.

СохМод.	Факторный анализ эффективности работы теплосети.							ВосМод.			
$\partial F/\partial A$	0,0016	0,0052	0,0069	0,0927	0,0000	-0,0015	0,0837	A,Реж.1	4,00	F,Реж.1	$\sum \partial F/\partial A $
$\Delta_A F$	-0,0311	-0,0260	-0,0687	0,1854	0,0000	-0,0076	-0,1674	A,Реж.2	2,00	F+ $\Delta_A F$	0,192
$\delta(\partial F/\partial A)$	0,812	2,718	3,585	48,398	0,000	-0,795	43,692	$\partial F/\partial A$	0,0000	0,807	$\sum \Delta_A F $
$\delta(\Delta_A F)$	-6,398	-5,353	-14,123	38,133	0,000	-1,566	-34,426	$\Delta_A F$	0,0000	0,807	0,486
Обозн.	$t_{п}^{cp}$	$t_{о}^{cp}$	$G_{п}^{вх}$	$G_{уф}$	$t_{нв}^ф$	$t_{хв}$	$\Delta t_{п}$	$Q_{пф}$	$\Delta Q_{пф}$	$\delta Q_{пф}$	Фак. ан.
Реж. 1.	110,0	55,0	50,0	5,0	0,0	5,00	4,00	0,807	-0,120	-14,89	
Реж. 2.	90,0	50,0	40,0	7,0	10,0	10,00	2,00	0,687			
Разм.	°C	°C	т/ч	т/ч	°C	°C	°C	МВт	МВт	%	

Подготовка перед вводом исходных данных по Реж.1 и Реж.2

1. Долевые влияния определяющих аргументов (в % от суммы их модулей: $\delta(\Delta_A F) = \Delta_A F / \sum |\Delta_A F|$) на суммарное изменение величины фактических теплотерь в сетях по мере перехода от Реж.1 к Реж.2: $\Delta Q_{пф} = Q_{пф2} - Q_{пф1}$.

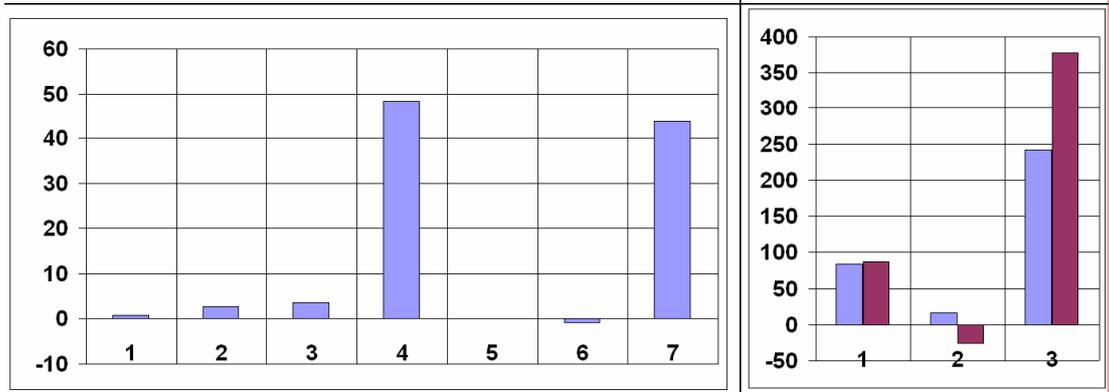
Структ. состав (в % к суммарным) фактич. (ф) и норм. (н) потерь в сетях через изоляцию (и) и с утечками (у).



Обозн.	$t_{п}^{cp}$	$t_{о}^{cp}$	$G_{п}^{вх}$	$G_{уф}$	$t_{нв}^ф$	$t_{хв}$	$\Delta t_{п}$	$P_{ф}^н$	$P_{ф}^у$	$P_{н}^н$	$P_{н}^у$
Реж. 1.	110,0	55,0	50,0	5,0	0,0	5,00	4,00	44,1	55,9	69,9	30,1
Реж. 2.	90,0	50,0	40,0	7,0	10,0	10,00	2,00	28,9	71,1	72,2	27,8
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4

2. Скорости изменения фактических теплотерь по определяющим их аргументам (в % от суммы их модулей: $\delta(\partial F/\partial A) = \partial F/\partial A / \sum |\partial F/\partial A|$) по мере перехода от Реж. 1 к Реж.2.

Относит. (в % от норм) значения сумм. факт. теплотерь, через изол. (и) и с утеч. (у):



Обозн.	$t_{п}^{cp}$	$t_{о}^{cp}$	$G_{п}^{вх}$	$G_{уф}$	$t_{нв}^ф$	$t_{хв}$	$\Delta t_{п}$	Обозн.	$\delta Q_{т}$	$\delta Q_{т}^н$	$\delta Q_{у}$
Реж. 1.	110,0	55,0	50,0	5,0	0,0	5,00	4,00	Реж. 1.	84,3	16,4	242
Реж. 2.	90,0	50,0	40,0	7,0	10,0	10,00	2,00	Реж. 2.	86,8	-25,3	378
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	№ п/п	1	2	3

Рис. 8.5. Фрагмент из файла НПК1. Графическое отображение результатов факторного анализа при сопоставлении двух режимов работы теплосети.

вующим запланированным мероприятиям.

С учётом изложенного в порядке примера рассмотрим простейший случай описания режима работы теплосети, основанный на известных формулах расчёта теплопотерь $Q_{\text{пот}}$ и отпуска теплоты, циркулирующей в сети $Q_c = Q_{\text{Тс}} \approx 0,5(Q_{\text{э}} + Q_{\text{п}})$. В качестве аргументов при написании формул принимаем следующие показатели: средние значения температур прямой $t_{\text{п}}^{\text{ср}}$ и обратной $t_{\text{о}}^{\text{ср}}$ сетевой воды; температурный напор $\Delta\tau_{\text{из}}$ между обоими теплоносителями и окружающей средой с температурой $t_{\text{окр}}$; виртуальные [63] значения размеров теплосети, т. е. поверхности $S_{\text{Тс}}$ и длины $L_{\text{Тс}} = 0,25S_{\text{Тс}}^2 / (\pi V_{\text{Тс}})$; осреднённый коэффициент теплопередачи K_s через теплоизоляцию теплосети из учёта упомянутых размеров $S_{\text{Тс}}$ и $L_{\text{Тс}}$; величину массовой утечки воды G_y и температуру холодной добавочной воды $t_{\text{хв}}$, подаваемой в теплосеть для компенсации потерь [116],

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{Т}} + Q_y, \quad (8.54)$$

где потери через теплоизоляцию $Q_{\text{Т}}$ и с утечками воды Q_y выразим так:

$$Q_{\text{Т}} = K_s S_{\text{Тс}} \Delta\tau_{\text{из}} = q_l L_{\text{Тс}} = 0,25 q_l S_{\text{Тс}}^2 / (\pi V_{\text{Тс}}), \quad (8.55)$$

$$\Delta\tau_{\text{из}} = 0,5(t_{\text{п}}^{\text{ср}} + t_{\text{о}}^{\text{ср}}) - t_{\text{окр}}, \quad (8.56)$$

$$Q_y = c G_y [0,5(t_{\text{п}}^{\text{ср}} + t_{\text{о}}^{\text{ср}}) - t_{\text{хв}}]. \quad (8.57)$$

На основании (8.54) – (8.57) получаем общую формулу расчёта теплопотерь $Q_{\text{пот}}$ как функцию указанных выше аргументов:

$$Q_{\text{пот}} = K_s S_{\text{Тс}} [0,5(t_{\text{п}}^{\text{ср}} + t_{\text{о}}^{\text{ср}}) - t_{\text{окр}}] + c G_y [0,5(t_{\text{п}}^{\text{ср}} + t_{\text{о}}^{\text{ср}}) - t_{\text{хв}}]. \quad (8.58a)$$

т. е. в данном случае величину теплопотерь рассматриваем, как функцию аргументов, доступных к определению в условиях эксплуатации, т. е.

$$Q_{\text{пот}} = f_{\text{пот}}(K_s, S_{\text{Тс}}, t_{\text{п}}^{\text{ср}}, t_{\text{о}}^{\text{ср}}, t_{\text{окр}}, G_y, t_{\text{хв}}). \quad (8.58б)$$

Отпуск теплоты, циркулирующей в сети с массовым расходом воды $G_c \approx 0,5(G_{\text{п}} + G_{\text{о}})$ выразим так:

$$Q_c = c[G_c(t_{\text{п}}^{\text{ср}} - t_{\text{о}}^{\text{ср}}) + G_y[0,5(t_{\text{п}}^{\text{ср}} + t_{\text{о}}^{\text{ср}}) - t_{\text{хв}}]]. \quad (8.59a)$$

т. е. аналогично имеем:

$$Q_c = f_c(G_c, t_{\text{п}}^{\text{ср}}, t_{\text{о}}^{\text{ср}}, G_y, t_{\text{хв}}). \quad (8.59б)$$

В соответствии с общим принципом организации анализа по формулам (8.52), (8.53) определяем:

– на основании (8.58):

$$d_{t_{\text{п}}^{\text{ср}}} Q_{\text{пот}} \approx 0,5(K_s S_{\text{Тс}} + 0,5c G_y)(t_{\text{пф}}^{\text{ср}} - t_{\text{пнр}}^{\text{ср}}), \quad (8.60a)$$

$$d_{t_o^{cp}} Q_{пот} \approx 0,5(K_s S_{Tc} + 0,5c G_y)(t_{oф}^{cp} - t_{онр}^{cp}), \quad (8.60б)$$

$$d_{K_s} Q_{пот} \approx S_{Tc}[0,5(t_{п}^{cp} + t_o^{cp}) - t_{окр}] (K_{сф} - K_{снр}), \quad (8.60в)$$

$$d_{G_y} Q_{пот} \approx c[0,5(t_{п}^{cp} + t_o^{cp}) - t_{хв}] (G_{yф} - G_{ynр}), \quad (8.60г)$$

$$d_{t_{окр}} Q_{пот} \approx -K_s S_{Tc} (t_{окрф} - t_{окрнр}), \quad (8.60д)$$

$$d_{t_{хв}} Q_{пот} \approx -c G_y (t_{хвф} - t_{хвнр}), \quad (8.60е)$$

$$d_{S_{Tc}} Q_{пот} \approx K_s [0,5(t_{п}^{cp} + t_o^{cp}) - t_{окр}] (S_{Tcф} - S_{Tcnр}). \quad (8.60ж)$$

– на основании (8.59):

$$d_{t_{п}^{cp}} Q_c \approx c(G_c + 0,5G_y)(t_{пф}^{cp} - t_{пнр}^{cp}), \quad (8.61а)$$

$$d_{t_o^{cp}} Q_c \approx -c(G_c - 0,5G_y)(t_{оф}^{cp} - t_{онр}^{cp}), \quad (8.61б)$$

$$d_{G_c} Q_c \approx c(t_{п}^{cp} - t_o^{cp})(G_{сф} - G_{снр}), \quad (8.61в)$$

$$d_{G_y} Q_c \approx c[0,5(t_{п}^{cp} + t_o^{cp}) - t_{хв}] (G_{yф} - G_{ynр}). \quad (8.61г)$$

Входящие в формулы (8.60) и (8.61) нормативные (инд. нр) значения аргументов $\Pi_{нр} = \Pi_{нрi}$ вычисляются по формуле (8.17) на основании заранее установленных и запланированных мероприятий, с коэффициентами резервов $R = R_i$ и степенями $\mu = \mu_i$ их использования, т. е. по каждому аргументу от $i = 1$ до $i = k$.

Следует отметить, что частные дифференциалы функции Π , т. е. в данном примере $Q_{пот}$ и Q_c , используются только при оценках относительных изменений показателей $\delta(\Delta_{\Pi i} \Pi)$: $\delta(\Delta_{\Pi i} Q_{пот})$ и $\delta(\Delta_{\Pi i} Q_c)$, как это показано в виде формулы (8.52). Полное приращение функции Π , т. е.

$$d\Pi \approx \Delta\Pi = f_2[(\Pi_1 + \Delta\Pi_{2-1}), (\Pi_2 + \Delta\Pi_{3-2}), \dots, (\Pi_k + \Delta\Pi_{k-(k-1)})] - f_1[\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_k]$$

не равно сумме её частных приращений

$$d_{\Pi 1} \Pi + d_{\Pi 2} \Pi + \dots + d_{\Pi k} \Pi = \sum_{i=1}^k d_{\Pi i} \Pi.$$

Из этого следует, что итоговое отклонение фактических теплопотерь $\Delta Q_{пот}$ и отпуска теплоты ΔQ_c от нормативных следует вычислять не по формуле (8.53), а как разность между фактическими и нормативными значениями этих величин:

$$\Delta Q_{пот} = Q_{потф} - Q_{потнр}, \quad (8.62)$$

$$\Delta Q_c = Q_{сф} - Q_{снр}. \quad (8.63)$$

Принци факторного анализа, изложенного выше, и в частности, по формуле (8.52), рекомендуется использовать применительно к любым функциям в процессе оперативного контроля за эффективностью работы теплосетей.

На рис. (8.3) дана фрагмент из рабочего файла ФаТс5, в котором даны результаты расчёта показателей теплосети, в частности, отпуск теплоты в сеть $Q_c = Q_{cф}$ и теплопотери $Q_{пот} = Q_{пф}$ в Реж.1 и Реж.2. Соответственно на рис. (8.4) в виде гистограмм с помощью расчётных формул (8.60) и (8.61) показаны степени влияния соответствующих аргументов, определяющих изменения функций $Q_c = Q_{cф}$ и $Q_{пот} = Q_{пф}$ по мере перехода работы теплосети от Реж.1 к Реж.2.

На рис. 8.4 представлены результаты факторного анализа изменения теплопотерь в сети по мере перехода от Реж.1 к Реж.2. В отличие от данных на рис. 8.4 из файла ФаТс5, факторный анализ теплопотерь, представленных на рис. 8.5 из файла НПК1 выполнен путём организации численного анализа частных дифференциалов теплопотерь по исследуемым аргументам.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. Действующий в настоящее время метод оценки изменения интегральных показателей эффективности топливоиспользования, в частности таких, как удельные расходы топлива, может быть расширен и распространён на определяющие их независимые аргументы, как в области электростанций и котельных, так и в области теплосетей.

2. В соответствии с п.1 выше организация факторного анализа и освоения тепловых резервов первоначальных независимых аргументов способствует повышению производительности труда при разработках и принятиях соответствующих решений в оперативном порядке.

3. Факторный анализ эффективности работы теплосетей предусматривает принцип учета и освоения резервов экономичности оборудования и способствует повышению уровня его эксплуатации.

4. Принцип факторного анализа рекомендуется использовать при планировании режимов работы теплосетей, в порядке оперативного контроля и при выполнении соответствующих проектных работ .

8.5. Общая оценка эффективности и планирование работы теплосетей по отчётным данным.

Задача расчёта фактических теплопотерь в сетях $Q_{пот} = Q_{пф}$ была и остаётся одной из сложных и не решённых проблем в системе теплоснабжения. Установка приборов учёта не решает эту дачу в полной мере, т. к. инерционность системы и погрешности при измерении необходимых показателей являются серьёзной помехой при сведении баланса теплозатрат. На практике решение этой проблемы сводится к достижению компромисса при перераспределении суммарных теплопотерь между объектами сбыта и потребления теплоты, т. е. на каждый объект возлагается определённая доля компенсации суммарных теплопотерь согласно балансовой принадлежности. Такое решение проблемы снижает актуальность вопроса о точности (достоверности) определения фактических теплопотерь в сетях. С другой стороны оценка эффективности мероприятий по снижению (освоению резервов) теплопотерь требует повышения точности этих расчётов. Этого можно достигнуть путём

оперирования не абсолютными значениями анализируемых величин, а их отклонениями (изменениями) от базовых, т. е.

$$\Delta\Pi_{\Pi} = \Pi_{\Phi} - \Pi_{\text{б}}, \quad (8.64)$$

принимаемых в качестве сопоставимых: расчётных, нормативных, планируемых и т. д. С другой стороны, полагаем, что абсолютная величина этих отклонений состоит в свою очередь из двух основных составляющих [117], каждая из которых имеет свой физический смысл, т. е.

$$\Delta\Pi_{\Pi} = \Delta\Pi_{\text{об}} + \Delta\Pi_{\text{суб}}. \quad (8.65)$$

Одна из этих составляющих ($\Delta\Pi_{\text{об}}$) является результатом влияния объективных (инд. «об») факторов, например, таких, как изменение нагрузок потребителей ($\Delta Q_{\text{сфб}} = Q_{\text{сф}} - Q_{\text{сб}}$) согласно установленному графику температур сетевой воды и показателя размеров теплосетей ($\Delta\text{б}_{\text{Тс}} = \Delta\text{б}_{\text{фб}} = \text{б}_{\text{ф}} - \text{б}_{\text{б}}$). Другая составляющая ($\Delta\Pi_{\text{суб}}$) – результат влияния субъективных факторов (инд. «суб»), т. е. освоения тепловых резервов или ухудшения технического состояния сетей ($\Delta\chi_{\text{Тс}} = \Delta\chi_{\text{фб}} = \chi_{\text{ф}} - \chi_{\text{б}}$), допуска ряда неточностей в системе учёта и т. д. Систематическое сопоставление тенденций (т. е. значений со знаком плюс или минус) составляющих $\Delta\Pi_{\text{об}}$ и $\Delta\Pi_{\text{суб}}$ позволяет с течением времени дать не только качественную оценку эффективности выполненных мероприятий, но и корректировать уровень объективности (точности) отчётных показателей. В частности, применительно к анализу отчётных (фактических) значений теплопотерь в сетях на основании (8.64), (8.65) это можно выразить так:

$$\Delta Q_{\Pi} = Q_{\Pi} - Q_{\text{пб}} = \Delta Q_{\text{об}} + \Delta Q_{\text{суб}}. \quad (8.66)$$

Таким образом, стоит задача разделения отчётной величины теплопотерь ΔQ_{Π} на две составляющие $\Delta Q_{\text{об}}$, $\Delta Q_{\text{суб}}$ и их расчёта. В связи с этим величину фактических теплопотерь представим, как функцию трёх переменных:

$$Q_{\Pi} = q_{\Pi} Q_{\text{с}} = \chi \text{б} Q_{\text{с}} = f(\chi, \text{б}, Q_{\text{с}}). \quad (8.67)$$

где следует заметить, что согласно принятым ранее обозначениям в разделе 8.2 по формуле (8.7) $\text{б} = \text{б}_{\text{Тс}} = 4L_{\text{Тс}} / D_{\text{Тс}} = 0,25\pi^{-1} S_{\text{Тс}}^3 V_{\text{Тс}}^{-2}$. В соответствии с этим показатель χ в формуле (8.67), оставаясь константой, несколько отличается от принятой ранее в разделе 8.3: согласно формуле (8.27) т. $\chi = 0,25\chi_{\text{Тс}}$.

Полный дифференциал функции (8.67) запишем так:

$$\Delta Q_{\Pi} = \Delta Q_{\text{с}} Q_{\Pi} + \Delta_{\text{б}} Q_{\Pi} + \Delta_{\chi} Q_{\Pi} = \chi \text{б} \Delta Q_{\text{с}} + \chi Q_{\text{с}} \Delta \text{б} + \text{б} Q_{\text{с}} \Delta \chi, \quad (8.68)$$

где связь между показателем технической эффективности χ теплосети, абсолютной Q_{Π} и относительной $q_{\Pi} = Q_{\Pi} / Q_{\text{с}}$ величиной теплопотерь имеет вид:

$$\chi = q_{\Pi} \text{б}^{-1} = Q_{\Pi} Q_{\text{с}}^{-1} \text{б}^{-1} = 0,25\chi_{\text{Тс}}. \quad (8.69)$$

На рис. 8.6 в виде гистограммы показана эффективность объективных ($\Delta Q_{об}$) и субъективных ($\Delta Q_{суб}$) факторов на фоне базовых ($Q_{пб}$) и отчётных фактических ($Q_{п}$, $Q_{по}$) теплопотерь в сетях.

Рассмотрим показатели χ , \bar{b} , Q_c в формуле (8.68) по мере перехода работы теплосетей от одного режима (Реж. 1) к другому (Реж. 2). Режим 1 будем рассматривать, как базовый. Это может быть любой: фактический, либо нормативный, а относящиеся к нему показатели в отличие от сопоставляемого с ним режима 2 будем отмечать дополнительным индексом «б». Тогда на основании уравнения (8.68) при $Q_c = Q_{сб}$, $\bar{b} = \bar{b}_б$, $\chi = \chi_б$ и соответственно при $\Delta Q_c = Q_c - Q_{сб}$, $\Delta \bar{b} = \bar{b} - \bar{b}_б$, $\Delta \chi = \chi - \chi_б$ показатель $\Delta Q_{п}$ определим как функцию тех же трёх изменяющихся аргументов χ , \bar{b} , Q_c в

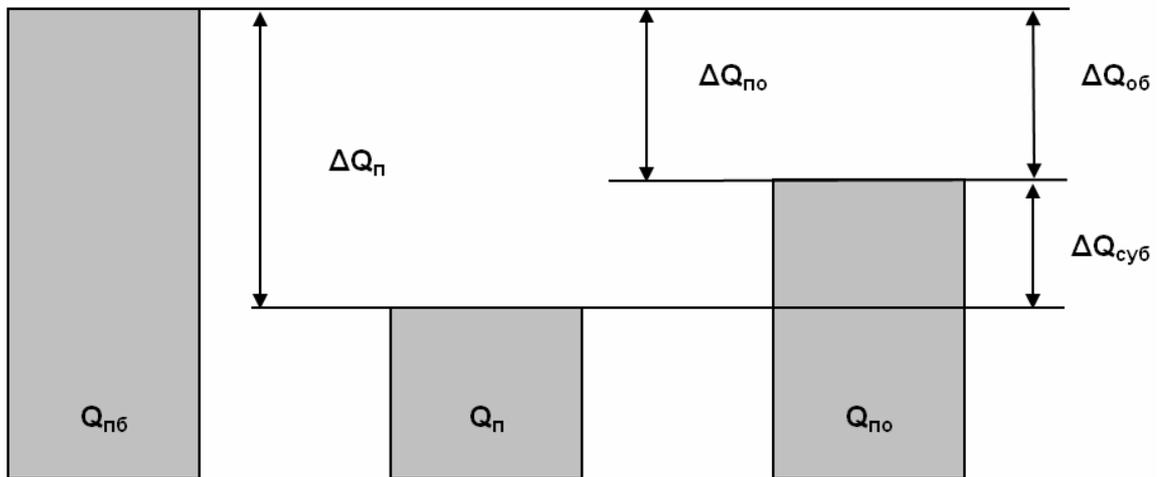


Рис. 8.6. Графическое отображение влияния эффективности объективных ($\Delta Q_{об}$) и субъективных ($\Delta Q_{суб}$) факторов на фоне базовых ($Q_{пб}$) и фактических отчётных ($Q_{п}$, $Q_{по}$) теплопотерь в сетях.

двух сопоставляемых режимах 1, 2, т. е. $\Delta Q_{п} = f(\chi, \bar{b}, Q_c, \chi_б, \bar{b}_б, Q_{сб})$:

$$\Delta Q_{п} = \chi \bar{b}_б Q_{сб} + M, \quad (8.70)$$

где

$$M = \chi_б [\bar{b} Q_{сб} + \bar{b}_б (Q_c - 3Q_{сб})]. \quad (8.71)$$

На основании (8.66), (8.70) имеем:

$$\Delta Q_{п} = \Delta Q_{об} + \Delta Q_{суб} = \chi \bar{b}_б Q_{сб} + M. \quad (8.72)$$

Дальнейший анализ основан на рассмотрении формул (8.66), (8.69), (8.70) и (8.72) при условии, что $\Delta Q_{суб} = 0$. Очевидно, это случай, когда по мере перехода от базового режима (Реж. 1) к анализируемому (Реж. 2), величина теплопотерь изменяется только за счёт субъективных факторов, т. е. в условиях, когда, несмотря на изменение показателя размеров теплосетей \bar{b} и отпуска теплоты Q_c , эффект от освоения тепловых резервов отсутствует: $\Delta Q_{суб} = 0$ при $\Delta Q_{об} \neq 0$. Следовательно, в таком случае при $\Delta Q_{суб} = 0$ соответственно $\chi = \chi_б$, $Q_{п} = Q_{по}$, $q_{п} = q_{по}$ и уравнения (8.66), (8.69), (8.72)

принимают вид:

$$\Delta Q_{\text{по}} = Q_{\text{по}} - Q_{\text{пб}} = \Delta Q_{\text{об}} , \quad (8.73)$$

$$\chi_o = q_{\text{по}} \bar{b}^{-1} = Q_{\text{по}} Q_c^{-1} \bar{b}^{-1} , \quad (8.74)$$

$$\Delta Q_{\text{по}} = \Delta Q_{\text{об}} = \chi_o \bar{b}_o Q_{\text{сб}} + M . \quad (8.75)$$

Теплоисточник: Наименов. Предприятия

Сохран.

Скопир.

1а Удал.

T Удал.

Анализ эффективности работы теплосетей за отчётный период времени τ .

1. Базовые (нормативные - Π_b) и отчётные (фактические - Π_ϕ) показатели работы теплосетей и отклонения отчётных показателей ($\Delta\Pi_{\phi b} = \Pi_\phi - \Pi_b$) от базовых. Значения объективных ($\Delta Q_{\text{об}}^\phi = \Delta Q_{\text{по}\phi b}$) и субъективных ($\Delta Q_{\text{св}}^\phi$) составляющих отклонения отчётных теплопотерь ($\Delta Q_{\text{пф}}^\phi = Q_{\text{пф}} - Q_{\text{пб}} = \Delta Q_{\text{об}}^\phi + \Delta Q_{\text{св}}^\phi$) от базовых:

Разм.	-	Гкал	Гкал		%		-	
Π_b	\bar{b}_b	$Q_{\text{сб}}$	$Q_{\text{пб}} = Q_{\text{поб}}$		M	q_b	$\%_b$	
	3012683,4	300,0	30,0			10,00	3,319	
Π_ϕ	\bar{b}_ϕ	$Q_{\text{сф}}$	$Q_{\text{пф}}$	$Q_{\text{поф}}$	-23,5	q_ϕ	$q_{\phi o}$	$\%_\phi$
	3161168,2	350,0	32,0	35,4		9,14	10,11	2,892
$\Delta\Pi_{\phi b}$	$\Delta\bar{b}_{\phi b}$	$\Delta Q_{\text{сф}b}$	$\Delta Q_{\text{пф}b}$		$\Delta Q_{\text{по}\phi b}$	$\Delta q_{\phi b}$	$\Delta q_{\phi o b}$	$\Delta\%_{\phi b}$
			$\Delta Q_{\text{об}}^\phi$	$\Delta Q_{\text{св}}^\phi$				
	148484,8	50,0	2,0		5,4	-0,86	0,11	-0,427
			5,4	-3,4				

2. Удельные влияния отдельных аргументов на отклонение отчётных значений теплопотерь

($\Delta Q_{\text{пф}}^\phi = Q_{\text{пф}} - Q_{\text{пб}}$) от базовых:

- за счёт объективных ($\Delta Q_{\text{об}}^\phi$) и субъективных ($\Delta Q_{\text{св}}^\phi$) факторов, выраженных в процентах ($\delta Q_{\text{об}}^\phi$ и $\delta Q_{\text{св}}^\phi$) по отношению к сумме их модулей;

- за счёт изменения составляющих (частных дифференциалов): геометрической характеристики теплосети ($\Delta\bar{b}_{\phi b}$), отпуска теплоты в сеть ($\Delta Q_{\text{сф}b}$) и критерия эффективности теплосетей ($\Delta\%_{\phi b}$), выраженных в процентах ($\delta\bar{b}_{\phi b}$, $\delta Q_{\text{сф}b}$ и $\delta\%_{\phi b}$) по отношению к сумме их модулей.

Разм.	$\Delta Q_{\text{пф}b}$	$\Delta_{\text{об}} Q_{\text{пф}b} = \Delta Q_{\text{об}}^\phi$	$\Delta_{\text{св}} Q_{\text{пф}b} = \Delta Q_{\text{св}}^\phi$	M	$d_b Q_{\text{пф}b}$	$d_{Q_c} Q_{\text{пф}b}$	$d_{\%} Q_{\text{пф}b}$
Гкал	2,0	5,4	-3,4	-23,5	1,479	5,000	-3,860
Разм.	$\delta Q_{\text{пф}b}$	$\delta Q_{\text{об}}^\phi$	$\delta Q_{\text{св}}^\phi$	-	$\delta\bar{b}_{\phi b}$	$\delta Q_{\text{сф}b}$	$\delta\%_{\phi b}$
%	100	61,42	-38,58	-	14,30	48,36	-37,33

Рис. 8.7. Фрагмент из файла АТФ2.

Теплоисточник:

Наименов. предпр.

Т1А. Базовые (Π_b) и отчётные (Π_ϕ) показатели работы теплосетей за отчётные периоды времени τ (сутки, месяцы, годы).

Разм.	-	Гкал	Гкал		%		-
Π_b	\bar{b}_b	$Q_{\text{сб}}$	$Q_{\text{пб}} = Q_{\text{поб}}$		q_b	$q_{b o}$	$\%_b$
	3012683,4	300,0	30,0				
Π_ϕ	\bar{b}_ϕ	$Q_{\text{сф}}$	$Q_{\text{пф}}$	$Q_{\text{поф}}$	q_ϕ	$q_{\phi o}$	$\%_\phi$
1	3161168,2	350,0	32,0	35,4	9,14	10,11	2,892
2	3161168,2	350,0	32,0	35,4	9,14	10,11	2,892
3	3161168,2	350,0	32,0	35,4	9,14	10,11	2,892
4	3161168,2	350,0	32,0	35,4	9,14	10,11	2,892

Рис. 8.8. Фрагмент из файла АТФ2.

Теплоисточник: Наименов. предпр.

Т1Б. Отклонения отчётных показателей ($\Delta\Pi_{\phi\delta} = \Pi_{\phi} - \Pi_{\delta}$) работы теплосетей от базовых и значения объективных ($\Delta Q_{\phi\delta}^{\phi} = \Delta Q_{\Pi\phi\delta}$) и субъективных ($\Delta Q_{\phi\delta}^{\psi}$) составляющих отклонений отчётных теплопотерь ($\Delta Q_{\Pi\phi\delta} = Q_{\Pi\phi} - Q_{\Pi\delta}$) от базовых за отчётные периоды времени τ (сутки, месяцы, годы).

Разм.	-	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал	%	-
$\Delta\Pi_{\phi\delta}$	$\Delta\bar{b}_{\phi\delta}$	$\Delta Q_{\phi\delta}$	$\Delta Q_{\Pi\phi\delta}$	$\Delta Q_{\phi\delta}^{\phi}$	$\Delta Q_{\phi\delta}^{\psi}$	$\Delta q_{\phi\delta}$	$\Delta\%_{\phi\delta}$
1	148484,8	50,0	2,0	5,4	-3,4	-0,86	-0,427
2	148484,8	50,0	2,0	5,4	-3,4	-0,86	-0,427
3	148484,8	50,0	2,0	5,4	-3,4	-0,86	-0,427
4	148484,8	50,0	2,0	5,4	-3,4	-0,86	-0,427

Рис. 8.9. Фрагмент из файла АТФ2.

Теплоисточник:

Наименов. предпр.

Т2. Удельные влияния отдельных аргументов на отклонения отчётных значений теплопотерь ($\Delta Q_{\Pi\phi\delta} = Q_{\Pi\phi} - Q_{\Pi\delta}$) от базовых по отчётным периодам времени τ (сутки, месяцы, год):

— за счёт объективных ($\Delta Q_{\phi\delta}^{\phi}$) и субъективных ($\Delta Q_{\phi\delta}^{\psi}$) факторов, выраженных в процентах ($\delta Q_{\phi\delta}^{\phi}$ и $\delta Q_{\phi\delta}^{\psi}$) по отношению к сумме их модулей;

— за счёт изменения составляющих (частных дифференциалов): геометрических характеристик теплосетей ($\Delta\bar{b}_{\phi\delta}$), отпуска теплоты в сеть ($\Delta Q_{\phi\delta}$) и критериев эффективности теплосетей ($\Delta\%_{\phi\delta}$), выраженных в процентах ($\delta\bar{b}_{\phi\delta}$, $\delta Q_{\phi\delta}$ и $\delta\%_{\phi\delta}$) по отношению к сумме их модулей.

Разм.	Гкал	Гкал	Гкал	%	%	%	%	%
τ	$\Delta Q_{\Pi\phi\delta}$	$\Delta Q_{\phi\delta}^{\phi}$	$\Delta Q_{\phi\delta}^{\psi}$	$\delta Q_{\phi\delta}^{\phi}$	$\delta Q_{\phi\delta}^{\psi}$	$\delta\bar{b}_{\phi\delta}$	$\delta Q_{\phi\delta}$	$\delta\%_{\phi\delta}$
1	2,0	2,0	-3,4	61,4	-38,6	14,30	48,36	-37,33
2	2,0	2,0	-3,4	61,4	-38,6	14,30	48,36	-37,33
3	2,0	2,0	-3,4	61,4	-38,6	14,30	48,36	-37,33
4	2,0	2,0	-3,4	61,4	-38,6	14,30	48,36	-37,33

Рис. 8.10. Фрагмент из файла АТФ2.

На основании (8.73) – (8.75) окончательно определяем расчётные формулы, позволяющие вычислять показатели $\Delta Q_{\phi\delta}$ и $\Delta Q_{\phi\delta}$ по осреднённым отчётным данным, предусмотренным рядом действующих инструкций и положений:

$$\Delta Q_{\phi\delta} = \Delta Q_{\Pi\phi} = \frac{Q_{\Pi\delta} \bar{b}_{\phi} Q_{\phi\delta} + M \bar{b}_{\phi} Q_{\phi}}{\bar{b}_{\phi} Q_{\phi} - \bar{b}_{\phi} Q_{\phi\delta}}, \quad (8.76)$$

$$Q_{\Pi\phi} = \frac{(Q_{\Pi\delta} + M) \bar{b}_{\phi} Q_{\phi}}{\bar{b}_{\phi} Q_{\phi} - \bar{b}_{\phi} Q_{\phi\delta}}, \quad (8.77)$$

$$\Delta Q_{\phi\delta} = Q_{\Pi} - Q_{\Pi\delta} - \Delta Q_{\phi\delta} = Q_{\Pi} - Q_{\Pi\phi}. \quad (8.78)$$

В целях формирования соответствующих рекомендаций следует определить знаки (+, -) и степени влияния каждого из слагаемых $\Delta Q_{\phi\delta}$ и $\Delta Q_{\phi\delta}$ на численное значение отчётного показателя ΔQ_{Π} таким образом:

$$\delta Q_{\phi\delta} = \frac{\Delta Q_{\phi\delta}}{|\Delta Q_{\phi\delta}| / + / \Delta Q_{\phi\delta} /}, \quad (8.79)$$

$$\delta Q_{\text{cyб}} = \frac{\Delta Q_{\text{cyб}}}{/\Delta Q_{\text{об}} / + / \Delta Q_{\text{cyб}} /} . \quad (8.80)$$

Аналогичная оценка отчётного показателя $\Delta Q_{\text{п}}$ следует на основании формулы (8.68):

$$\delta Q_{\chi} = \frac{\Delta_{\chi} Q_{\text{п}}}{\Delta_{\chi} Q_{\text{п}} + \Delta_{\bar{b}} Q_{\text{п}} + \Delta_{Q_c} Q_{\text{п}}} , \quad (8.81)$$

$$\delta Q_{\bar{b}} = \frac{\Delta_{\bar{b}} Q_{\text{п}}}{\Delta_{\chi} Q_{\text{п}} + \Delta_{\bar{b}} Q_{\text{п}} + \Delta_{Q_c} Q_{\text{п}}} , \quad (8.82)$$

$$\delta Q_{Q_c} = \frac{\Delta_{Q_c} Q_{\text{п}}}{\Delta_{\chi} Q_{\text{п}} + \Delta_{\bar{b}} Q_{\text{п}} + \Delta_{Q_c} Q_{\text{п}}} , \quad (8.83)$$

где

$$\Delta_{\chi} Q_{\text{п}} = \bar{b} Q_c \Delta \chi = \bar{b} Q_c (\chi - \chi_{\bar{b}}) , \quad (8.84)$$

$$\Delta_{\bar{b}} Q_{\text{п}} = \chi Q_c \Delta \bar{b} = \chi Q_c (\bar{b} - \bar{b}_{\bar{b}}) , \quad (8.85)$$

$$\Delta_{Q_c} Q_{\text{п}} = \chi \bar{b} \Delta Q_c = \chi \bar{b} (Q_c - Q_{c\bar{b}}) . \quad (8.86)$$

Результаты представленного анализа могут быть использованы как при оценке качества эксплуатации теплосетей, так и при организации планирования их работы. При этом в качестве задания по освоению резервов тепловой экономичности в теплосетях могут быть установлены конкретные значения абсолютных и относительных теплопотерь ($Q_{\text{п}}$, $q_{\text{п}}$), либо показатель эффективности ($\chi_{\text{п}}$) теплосети в целом. Соответственно устанавливается также плановое значение показателей $\Delta Q_{\text{об}}$ и $\Delta Q_{\text{cyб}}$.

На рис. 8.7 – 8.10 в порядке примеров даны выкопировки из программного файла АТФ2 разработанного на основании материалов данного исследования. Выходные табуляграммы в случае планирования режимов работы теплосетей практически идентичны с отчётными.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. Разработан упрощённый метод экспресс-анализа эффективности работы теплосетей на основании нескольких показаний: геометрической характеристики сети, абсолютных теплопотерь в сетях и среднего по размерам сети отпуска теплоты.

2. Данный метод анализа эффективности работы теплосетей рекомендуется к использованию при выполнении соответствующих отчётных документов и при планировании режимов работы теплосетей.

3. Ежемесячную систему отчётности о работе теплосетей рекомендуется дополнять информацией, представленной на рис. 8.7 – 8.10.