

ТЕПЛОПТЕРИ В СЕТЯХ КАК РЕЗУЛЬТАТ УТЕЧЕК И ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Докт. техн. наук БАЙРАШЕВСКИЙ Б. А., инж. БОРУШКО Н. П.

ООО «НПК ТеплоЭнергетические Технологии»

На многих предприятиях вопросам анализа теплопотерь в сетях не оказывается должного внимания. Систематическая отчетность о теплопотерях носит сугубо «декоративный» характер. Учет разрывов труб и мест их расположения выполняется с целью организации ремонта теплосетей, но не снижения теплопотерь. Из этого следует, что систему отчетности и известные методы анализа режимов работы теплосетей следует пересмотреть и доработать с учетом результатов мониторинга по выявлению имеющихся резервов экономии теплоты. Актуальность такой задачи в значительной мере определяется еще одним и, возможно, доминирующим фактором – неуклонным ростом объемов и старением теплосетей.

Основной трудностью на пути исследования фактических теплопотерь в сетях является отсутствие сведений о техническом состоянии теплопроводов под землей. В противном случае экспертная оценка состояния изоляции теплосетей открывает большие возможности решения ряда актуальных технико-экономических задач, постоянно возникающих в условиях производства. Из законов сохранения и причинно-следственных закономерностей очевидно, что скрытый уровень технического состояния теплосетей имеет конкретные признаки, «лежащие на поверхности», которые могут быть использованы в качестве определенных аргументов. При такой постановке вопроса наиболее представительными из них следует считать массовую утечку воды G_y , степень охлаждения прямой Δt_n и обратной Δt_o теплосети в условиях эксплуатации. Оба эти фактора поддаются измерениям. Если рассматривать теплосеть как виртуальный теплообменник [1, 2], то дальнейший анализ режимов ее работы можно свести к известным тривиальным методам решения подобных задач. Таким образом, показатели G_y , Δt_n и Δt_o при соответствующей обработке опытных данных позволяют сделать косвенные оценки дефектов теплосети, скрытых под землей. Кроме того, они образуют основной фундамент мониторинга теплосетей с последующей организацией оперативного контроля выполненных действий.

Рассмотрим модель сети, которая, как показывают наблюдения, близка к истине. Введем граничные условия:

- характер падения температур в прямых и обратных теплопроводах принимается линейным;
- в соответствии с теорией вероятностей величина утечек воды в прямых и обратных теплопроводах равна 0,5 от суммарной G_y .

В качестве исходных данных будем рассматривать два варианта решения задачи.

Вариант 1. 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 с учетом законов сохранения имеется возможность корректировки отчетной величины теплотерь, представляющих собой сумму потерь через изоляцию $Q_{\text{тф}}$ и с утечками Q_{yf} как функцию $Q_{\text{пот}} = Q_{\text{тф}} + Q_{\text{yf}} = f(\Delta t_{\text{п}}^{\text{ИЗМ}}, \Delta t_{\text{о}}^{\text{ИЗМ}}, G_y)$.

Вариант 2. За исходную величину, характеризующую степень охлаждения воды в сети, принимается перепад температуры только в прямой теплосети, т. е. $\Delta t_{\text{п}} = \Delta t_{\text{п}}^{\text{ИЗМ}}$, а соответствующий показатель $\Delta t_{\text{о}} = \Delta t_{\text{о}}^{\text{ИЗМ}}$ и величина теплотерь $Q_{\text{пот}}$ вычисляются.

В обоих вариантах в качестве контрольных показателей достоверности решения задачи целесообразно использовать перепады температур по обоим теплоносителям от входа до выхода, т. е. степени охлаждения воды в теплосети [3]:

$$\Delta t_{\text{п}} = t_{\text{п}}^{\text{ВХ}} - t_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}}; \quad (1)$$

$$\Delta t_{\text{о}} = t_{\text{о}}^{\text{ВХ}} - t_{\text{о}}^{\text{ВЫХ}}; \quad (2)$$

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 $\Delta t_{\text{п}}$ и $\Delta t_{\text{о}}$ определим на основании уравнений тепловых балансов, составленных для прямой и обратной теплосетей таким образом:

- в прямой сети:

$$Q_{\text{тп}} = c[G_{\text{п}}^{\text{ВХ}} t_{\text{п}}^{\text{ВХ}} - (G_{\text{п}}^{\text{ВХ}} - 0,5G_y)t_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}}]; \quad (3)$$

- в обратной сети:

$$Q_{\text{то}} = c[(G_{\text{п}}^{\text{ВХ}} - 0,5G_y)t_{\text{о}}^{\text{ВХ}} - (G_{\text{п}}^{\text{ВХ}} - G_y)t_{\text{о}}^{\text{ВЫХ}}], \quad (4)$$

где $Q_{\text{тп}} + Q_{\text{то}} = Q_{\text{тф}}$ – теплотери через поверхности изоляции в прямых и обратных трубопроводах.

Средние значения температур прямой и обратной сетевой воды:

$$t_{\text{п,о}}^{\text{СР}} = 0,5(t_{\text{п,о}}^{\text{ВХ}} + t_{\text{п,о}}^{\text{ВЫХ}}). \quad (5)$$

В результате совместного решения (1)–(5) определяем:

$$\Delta t_{\text{п}} = t_{\text{п}}^{\text{ВХ}} - t_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}} = (cG_y t_{\text{п}}^{\text{СР}} + 2Q_{\text{тп}})(2G_{\text{п}}^{\text{ВХ}} - 0,5G_y)^{-1} c^{-1}; \quad (6)$$

$$\Delta t_{\text{о}} = t_{\text{о}}^{\text{ВХ}} - t_{\text{о}}^{\text{ВЫХ}} = 2Q_{\text{то}}(2G_{\text{п}}^{\text{ВХ}} - 0,5G_y)^{-1} c^{-1}. \quad (7)$$

Надежность и положительная результативность изложенного метода анализа эффективности работы теплосетей во многом определяются степенью достоверности исходных (отчетных) данных по значениям исследуемых аргументов. Как правило, среди них наибольшим сомнениям подвер-

гается абсолютная величина фактических теплотерь. Поэтому в процессе расчетов 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 $\Delta t_{\text{п}} = \Delta t_{\text{пф}}$ и $\Delta t_{\text{о}} = \Delta t_{\text{оф}}$ хорошо известен. Поэтому большое отличие расчетных значений $\Delta t_{\text{п}}$ и $\Delta t_{\text{о}}$, вычисленных по (6), (7), от реально существующих может оказаться достаточным признаком недостоверности тех или иных исходных данных и, в первую очередь, фактических $Q_{\text{тф}}$ и нормативных $Q_{\text{тнр}}$ теплотерь через изоляцию, так как в отличие от остальных аргументов ($t_{\text{п}}^{\text{ср}}$, $t_{\text{о}}^{\text{ср}}$, G_y , $G_{\text{п}}^{\text{вх}}$) они не определяются путем прямых измерений. В данном случае целесообразно также сравнивать расчетные показатели $\Delta t_{\text{п}}$ и $\Delta t_{\text{о}}$ с аналогичными значениями $\Delta t_{\text{пн}}$ и $\Delta t_{\text{он}}$, вычисленными на основании базовых (номинальных) аргументов, учитываемых при определении коэффициентов резерва экономии топлива.

В порядке организации того же технологического контроля связь между температурами $t_{\text{п}}^{\text{вх}}$, $t_{\text{п}}^{\text{вых}}$ и $t_{\text{о}}^{\text{вх}}$, $t_{\text{о}}^{\text{вых}}$ можно определить иначе, например путем использования расчетных формул, содержащих коэффициент теплопередачи K_s через изоляцию труб в прямой ($S_{\text{п}} \approx 0,5 S_{\text{тс}}$) и обратной ($S_{\text{о}} \approx 0,5 S_{\text{тс}}$) теплосети, рассуждая таким образом:

а) поток теплоты на входе в прямую теплосеть со стороны энергоисточника $E_{\text{п}}^{\text{вх}} = c G_{\text{п}}^{\text{вх}} t_{\text{п}}^{\text{вх}} = Q_{\text{тп}} + Q_{y\text{п}} + E_{\text{п}}^{\text{вых}}$; теплотери на трассах прямых трубопроводов через изоляцию $Q_{\text{тп}}$ и с утечкам $Q_{y\text{п}}$ воды соответственно равны: $Q_{\text{тп}} = K_s S_{\text{п}} [0,5(t_{\text{п}}^{\text{вх}} + t_{\text{п}}^{\text{вых}}) - t_{\text{окр}}]$ и $Q_{y\text{п}} = 0,5 c G_y [0,5(t_{\text{п}}^{\text{вх}} + t_{\text{п}}^{\text{вых}}) - t_{\text{хв}}]$; поток теплоты, доставляемой потребителю из прямой теплосети; $E_{\text{п}}^{\text{вых}} = c(G_{\text{п}} - 0,5 G_y) t_{\text{п}}^{\text{вых}}$, следовательно, применительно к прямой теплосети можем записать

$$\left. \begin{aligned} c G_{\text{п}}^{\text{вх}} t_{\text{п}}^{\text{вх}} &= K_s S_{\text{п}} [0,5(t_{\text{п}}^{\text{вх}} + t_{\text{п}}^{\text{вых}}) - t_{\text{окр}}] + \\ &+ 0,5 c G_y [0,5(t_{\text{п}}^{\text{вх}} + t_{\text{п}}^{\text{вых}}) - t_{\text{хв}}] + c(G_{\text{п}} - 0,5 G_y) t_{\text{п}}^{\text{вых}}; \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

б) аналогичную связь между потоками теплоты на входе в обратную теплосеть со стороны потребителя $E_{\text{о}}^{\text{вх}} = c(G_{\text{п}}^{\text{вх}} - 0,5 G_y) t_{\text{о}}^{\text{вх}}$, теплотериями в обратных трубопроводах через изоляцию $Q_{\text{то}} = K_s S_{\text{о}} [0,5(t_{\text{о}}^{\text{вх}} + t_{\text{о}}^{\text{вых}}) - t_{\text{окр}}]$, с утечками $Q_{y\text{о}} = 0,5 c G_y [0,5(t_{\text{о}}^{\text{вх}} + t_{\text{о}}^{\text{вых}}) - t_{\text{хв}}]$ и потоком теплоты, доставляемым в коллекторы энергоисточника из обратной теплосети: $E_{\text{о}}^{\text{вых}} = c(G_{\text{п}}^{\text{вх}} - G_y) t_{\text{о}}^{\text{вых}}$, определим так: $E_{\text{о}}^{\text{вх}} = Q_{\text{то}} + Q_{y\text{о}} + E_{\text{о}}^{\text{вых}}$, т. е. применительно к обратной теплосети имеем

$$\left. \begin{aligned} c(G_{\text{п}}^{\text{вх}} - 0,5 G_y) t_{\text{о}}^{\text{вх}} &= K_s S_{\text{о}} [0,5(t_{\text{о}}^{\text{вх}} + t_{\text{о}}^{\text{вых}}) - t_{\text{окр}}] + \\ &+ 0,5 c G_y [0,5(t_{\text{о}}^{\text{вх}} + t_{\text{о}}^{\text{вых}}) - t_{\text{хв}}] + c(G_{\text{п}}^{\text{вх}} - G_y) t_{\text{о}}^{\text{вых}}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

На основании (8), (9) определяем отличные от (6), (7) взаимосвязи между температурами t_{Π}^{BX} , $t_{\Pi}^{\text{ВЫХ}}$ и t_{O}^{BX} , $t_{\text{O}}^{\text{ВЫХ}}$, выраженные в зависимости от коэффициента теплопередачи в сети следующим образом:

$$t_{\Pi}^{\text{ВЫХ}} = \frac{t_{\Pi}^{\text{BX}} [c(G_{\Pi}^{\text{BX}} - 0,25G_y) - 0,5K_s S_{\Pi}] + K_s S_{\Pi} t_{\text{окр}} + 0,5cG_y t_{\text{XB}}}{c(G_{\Pi}^{\text{BX}} - 0,25G_y) + 0,5K_s S_{\Pi}}, \quad (10)$$

$$t_{\text{O}}^{\text{BX}} = \frac{t_{\text{O}}^{\text{ВЫХ}} [c(G_{\Pi}^{\text{BX}} - 0,75G_y) + 0,5K_s S_{\text{O}}] - K_s S_{\text{O}} t_{\text{окр}} - 0,5cG_y t_{\text{XB}}}{c(G_{\Pi}^{\text{BX}} - 0,75G_y) - 0,5K_s S_{\text{O}}}. \quad (11)$$

Технологический контроль показателей Δt_{Π} и Δt_{O} по формулам (6), (7) и (10), (11) на основании нормативных аргументов, определяющих эти функции, также гарантирует эффективность работ по формированию плановых мероприятий, направленных на освоение имеющихся резервов.

Результаты теплофизических расчетов [4, 5] показывают, что различия между коэффициентами теплопередачи в прямых и обратных трубопроводах несущественные. Поэтому согласно уравнению теплопередачи потери теплоты через их изоляцию, входящие в (6), (7), для каждого из трубопроводов по прямой и обратной сетевой воде можно вычислять по формуле

$$Q_{\text{Тп,то}} = K_s S_{\text{п,о}} (t_{\text{п,о}} - t_{\text{окр}}). \quad (12)$$

Фактический коэффициент теплопередачи K_s , осредненный по обоим теплопроводам, находим также на основании уравнения теплового баланса

$$K_s = \{Q_{\text{ном}} - cG_y [0,5(t_{\Pi}^{\text{cp}} + t_{\text{O}}^{\text{cp}}) - t_{\text{XB}}]\} [0,5(t_{\Pi}^{\text{cp}} + t_{\text{O}}^{\text{cp}}) - t_{\text{окр}}]^{-1} S_{\text{тс}}^{-1}, \quad (13)$$

где суммарная (отчетная) величина теплотеря в сетях $Q_{\text{ном}} = Q_{\text{тф}} + Q_y$.

Соответственно величину номинального значения коэффициента теплопередачи (инд. «н») можно рассчитать также и на основании виртуальных размеров теплосетей [1, 2] протяженностью $L_{\text{тс}}$ и с поверхностью $S_{\text{тс}}$ на основании номинальной линейной плотности $q_{\text{лн}}$

$$K_{\text{сн}} = q_{\text{лн}} L_{\text{тс}} (S_{\text{тс}} \Delta \tau_{\text{из}})^{-1} = K_{\text{лн}} L_{\text{тс}} S_{\text{тс}}^{-1}. \quad (14)$$

Уравнения (1)–(13) представляют собой замкнутую систему, характерную для теплообменника и позволяющую анализировать входящие в нее показатели по любым признакам. В частности, согласно варианту 1 по измеренным перепадам температур $\Delta t_{\Pi} = \Delta t_{\Pi}^{\text{ИЗМ}}$ и $\Delta t_{\text{O}} = \Delta t_{\text{O}}^{\text{ИЗМ}}$ с учетом (6), (7) и (10), (11) эта система позволяет корректировать отчетные значения фактических теплотеря $Q_{\text{тф}}$ через изоляцию теплосети. При этом имеется в виду, что фактические теплотеря за счет утечек воды Q_{yf} вычисляются

ся на основании замеров массовых потерь $G_y = G_{y\phi}$. В результате такого анализа на основании уравнений (1)–(14) разработан пакет рабочих программ ФаТс1–ФаТс5. Здесь в качестве исходных данных (согласно варианту 1) используются показания штатных приборов, установленных на энергоисточнике: расход сетевой воды G_{Π}^{BX} , утечки $G_y = G_{y\phi}$, средние значения температур теплоносителей в прямой t_{Π}^{CP} и обратной t_o^{CP} теплосети, температуры наружного воздуха $t_{\text{нв}}^{\Phi}$, грунта $t_{\text{гр}}$ и холодной добавочной воды $t_{\text{хв}}$. Значения перепадов температур $\Delta t_{\Pi} = \Delta t_{\Pi}^{\text{ИЗМ}}$, $\Delta t_o = \Delta t_o^{\text{ИЗМ}}$ и суммарных теплотерь $Q_{\text{пот}} = Q_{\text{пф}}$ также используются в качестве исходных данных с последующей корректировкой путем соответствующих итераций.

Анализ системы уравнений (10)–(14) по варианту 2 выполняется таким образом.

На основании (1), (2), (5) определяем средние значения температур в сети:

$$t_{\Pi,o}^{BX} = t_{\Pi,o}^{CP} + 0,5\Delta t_{\Pi,o}; \quad (15)$$

$$t_{\Pi,o}^{ВЫХ} = t_{\Pi,o}^{CP} - 0,5\Delta t_{\Pi,o}. \quad (16)$$

В результате совместного решения (10), (11) и (15), (16) имеем:

$$\Delta t_o = (\Delta t_{\Pi} B_{o1} + B_{o2} - B_{\Pi 2}) B_{\Pi 1}^{-1}, \quad (17)$$

где

$$B_{\Pi 1} = S_{\Pi} (G_{\Pi}^{BX} - 0,75 G_y) (t_{\Pi}^{CP} - t_{\text{окр}});$$

$$B_{\Pi 2} = 0,5 G_y S_{\Pi} t_{\text{хв}} (t_{\Pi}^{CP} - t_{\text{окр}});$$

$$B_{o1} = S_o (G_{\Pi}^{BX} - 0,25 G_y) (t_o^{CP} - t_{\text{окр}});$$

$$B_{o2} = 0,5 G_y S_o t_{\text{хв}} (t_o^{CP} - t_{\text{окр}}).$$

В соответствии с постановкой задачи по варианту 2 разработан программный файл НПК1, позволяющий вычислять фактические значения теплотерь $Q_{\text{пот}}$ в сетях с канальной, бесканальной и воздушной прокладками на основании заданного показателя $\Delta t_{\Pi} = \Delta t_{\Pi}^{\text{ИЗМ}}$ в прямой сети. В отличие от варианта 1 перепад температур $\Delta t_o = \Delta t_o^{\text{ИЗМ}}$ в обратной сети вычисляется согласно (17) как функция показателя $\Delta t_{\Pi} = \Delta t_{\Pi}^{\text{ИЗМ}}$. В качестве исходных данных используются те же аргументы: t_{Π}^{CP} , t_o^{CP} , G_{Π}^{BX} , $G_{y\phi}$, $t_{\text{нв}}^{\Phi}$, $t_{\text{гр}}$, $t_{\text{хв}}$, Δt_{Π} . Выкопировка из рабочего листа программного файла НПК1 представлена в табл. 1, 2 – результаты факторного анализа [3, 6–8] изменения теплотерь в сети по мере перехода от режима 1 к режиму 2.

Таблица 1

Вькопировка из файла НПК1

НПК1	НПК Теплоэнергетические технологии								Д.т.н. Байрашевский Б.А. Магистр эк. наук Борушко Н.П.		
	Сох. Мод	Реж.1	5,00	4,67	4,33	4,00	3,67	3,33	3,00	2,67	2,33
		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 _п ^{ср}	t _о ^{ср}	G _п ^{вх}	G _{уф}	t _{нв} ^ф	t _{хв}	Δt _п	t _п ^{вх}	t _п ^{ввых}	t _о ^{вх}	t _о ^{ввых}
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 _{пом} ^ф	Δt _о	G _е	W _{тс} ^р	Q _{пф} ^н	Q _{оф} ^н	Q _ф ^н	Q _{уф} ^н	Q _{оф} ^н	Q _{уф} ^н	Q _{пф} ^н
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 _{пф} ^о	Q _{пф}	Q _{сф} ^{вх}	Q _{сф} ^{потр}	Q _н ^н	G _{уф}	Q _{уф}	Q _{пн}	q _ф	q _{пн} ^ф	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 _{пн} ^ф	10 ⁶ χ _{тсф} ^ф	10 ⁶ χ _{тсн} ^ф	K _ф	K _{пн}	K _{сф}	K _{сн}	t _{срф} ^{ср}	t _{срн} ^{ср}
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 _о	K _к	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}	Π _{тс}	L _{тс} /D _{тс}	β _{уф}	β _{пн}	ΔG _у	ΔQ _у	ΔQ _т ^н	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 _т ^н	δQ _т	P _ф ^н	P _ф ^у	P _н ^н	P _н ^у	K _ф L _{тс}	K _{оф} F _{оф}	R _к	B _{пн}
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	-	Г ^н 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.	Г ^н М ² °С ² /ч	Г ^н М ² °С/ч	Г ^н М ² °С ² /ч	Дж/(кг°К)							

Таблица 2

Вькопировка из файла НПК1. Графическое отображение результатов факторного анализа при сопоставлении двух режимов работы теплосети

Сох.Мод.	Факторный анализ эффективности работы теплосети.								Вос.Мод.		
∂ F / ∂ A	0,0016	0,0052	0,0069	0,0927	0,0000	-0,0015	0,0837	A, Реж.1	4,00	F, Реж.1	Σ ∂ F / ∂ A
Δ _A F	-0,0311	-0,0260	-0,0687	0,1854	0,0000	-0,0076	-0,1674	A, Реж.2	2,00	F+Δ _A F	0,192
∂(∂ F / ∂ A)	0,812	2,718	3,585	48,398	0,000	-0,795	43,692	∂ F / ∂ A	0,0000	0,807	Σ ∂ / ∂ A F
∂(Δ _A F)	-6,398	-5,353	-14,123	38,133	0,000	-1,566	-34,426	Δ _A F	0,0000	0,807	0,486
Обозн.	t _п ^{ср}	t _о ^{ср}	G _п ^{вх}	G _{уф}	t _{нв} ^ф	t _{хв}	Δt _п	Q _{пф}	ΔQ _{пф}	δQ _{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.	°С	°С	т/ч	т/ч	°С	°С	°С	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: $\Delta Q_{лф} = Q_{пф2} - Q_{пф1}$.							Структ. состав (в % к суммарным) фактич. (ф) и норм. (н) потерь в сетях через изоляцию (и) и с утечками (у).				
Обозн.	$t_{п}^{ср}$	$t_{о}^{ср}$	$G_{п}^{вх}$	$G_{уф}$	$t_{нв}^ф$	$t_{хв}$	$\Delta t_{п}$	$P_{ф}^н$	$P_{ф}^у$	$P_{н}^н$	$P_{н}^у$
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.	$t_{п}^{ср}$	$t_{о}^{ср}$	$G_{п}^{вх}$	$G_{уф}$	$t_{нв}^ф$	$t_{хв}$	$\Delta t_{п}$	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

ВЫВОДЫ

1. Составлен перечень основных расчетных формул, рекомендуемых для всестороннего анализа при обработке отчетных показателей работы теплосети.

2. Предложен метод расчета степени охлаждения сетевой воды в теплосети как косвенный вариант оценки достоверности отчетных показателей по теплотерям через изоляцию сетей.

3. Материалы исследования положены в основу разработки комплекса программных средств:

- ФаТс1–ФаТс5, позволяющих на основании измеренных перепадов температур $\Delta t_{\text{п}}^{\text{изм}}$ и $\Delta t_{\text{о}}^{\text{изм}}$ корректировать фактические теплотери в сетях;
- НПК1, позволяющего на основании измеренного перепада температуры воды $\Delta t_{\text{п}}^{\text{изм}}$ в прямой сети определять фактические теплотери тепло-сети в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байрашевский, Б. А. Оценка эффективности работы теплосетей / Б. А. Байрашевский // Электрические станции. – 1988. – № 2.
2. Байрашевский, Б. А. Оценка теплотерь и эффективности работы теплосетей / Б. А. Байрашевский // Известия НАН. Сер. ФТН. – 2004. – № 4.
3. Байрашевский, Б. А. Анализ эффективности работы теплосетей / Б. А. Байрашевский // Известия НАН. Сер. ФТН. – 1997. – № 1.
4. Байрашевский, Б. А. Анализ теплотерь двухтрубного теплопровода и тепло-сети в целом / Б. А. Байрашевский, В. А. Седнин, С. И. Абражевич // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2001. – № 6.
5. Борушко, Н. П. Основы расчета теплофизических характеристик традиционных теплопроводов / Н. П. Борушко // Известия НАН. Сер. ФТН. – 2004. – № 4.
6. Байрашевский, Б. А. Факторный анализ топливоиспользования при комбинированном производстве тепло- и электроэнергии на ТЭЦ / Б. А. Байрашевский // Промышленная безопасность. – 2003. – № 11.
7. Байрашевский, Б. А. Организация факторного анализа при сопоставлении фактических теплотерь с нормативными / Б. А. Байрашевский, Н. П. Борушко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2007. – № 2.
8. Байрашевский, Б. А. Факторный анализ ТЭП на фоне действующих инструкций / Б. А. Байрашевский, Н. П. Борушко // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 5.

Представлена кафедрой ПТЭ и ТТ

Поступила 24.04.2009

УДК 621.1.016(075.8)

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СУШКИ РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА

**Кандидаты техн. наук, доценты КОЧЕТКОВ А. В., МИГУЦКИЙ Е. Г.,
докт. техн. наук, проф. СЕДНИН В. А.**

Белорусский национальный технический университет

Технологические процессы, завершающиеся сушкой готового продукта, используют в качестве сушильного агента чаще всего воздух, подогреваемый в калориферах либо, если позволяет технологический регламент, смесь дымовых газов и воздуха. В качестве аппаратов для этих целей применяются конвективные сушилки различных типов. Нами рассматривается один из аппаратов этого типа – барабанная сушилка для сушки песка, ис-