

Приведенный модуль позволяет производить операции над исходной матрицей y , заменяя в ней данные безотказности и ремонтпригодности соответствующего элемента матрицы x .

ВЫВОДЫ

1. В основу алгоритма положен принцип формирования новой расчетной матрицы, определяющей состояние подсистемы, путем синтеза основной матрицы и аналитической, где исследователь может задавать прогнозируемые данные, отличные от результатов, полученных экспериментально.

2. Выявленные соотношения позволяют оценить степень важности каждого агрегата в формировании надежности энергоблока. В соответствии с численными данными, приведенными в работе, наибольшее влияние на надежность энергоблока оказывает безотказность котлоагрегата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б а й х е л ь т, Ф. Надежность и техническое обслуживание: математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен; пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
2. К а р н и ц к и й, Н. Б. Инженерные методы расчета показателей надежности оборудования ТЭС / Н. Б. Карницкий, С. Н. Шичко // Вестник БНТУ. – 2004. – № 4. – С. 56–59.

Представлена кафедрой
тепловых электрических станций

Поступила 7.07.2006

УДК 621.186.2.001.24

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ В ЗОНЕ ОХВАТА ЦЕНТРАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ ПУНКТОМ

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

РУП «БЕЛТЭИ»

Длительный опыт эксплуатации систем теплоснабжения показывает, что вопросы адекватного распределения теплоты по отдельным потребителям требуют дальнейшего изучения. В данном случае имеется в виду разная способность отапливаемых зданий сохранять переданную им теплоту как в стационарных условиях, так и в случае кратковременного отключения теплосети. Сведения о тепловых потерях зданий, эксплуатируемых в настоящее время, находятся на уровне проектных и расчетных показателей. Они не всегда отражают реальную действительность. Между тем каждое здание имеет свои теплотехнические характеристики и способно с разной степенью полноты использовать установленные параметры теплоносителя, поступающего от центрального теплового пункта (ЦТП).

На схемах к табл. 1, 2 показана система теплоснабжения однотипной группы отапливаемых зданий от ЦТП. Как видно, температура прямой сетевой воды на выходе из ЦТП для всех домов одинакова ($t_{цнд}^п = t_{ц}^п$; $t_{цнд}^п = t_{ц}^п$), а обратной воды на возврате в ЦТП ($t_{ц}^о$ и $t_{ц}^о$) оказывается

среднемассовой по всем зданиям региона ($\rho_{гцнд}$ и $\rho_{оцнд}$) с учетом теплопотерь в теплопроводах. Изучить закономерности теплопотребления каждого здания и ЦТП в условиях эксплуатации достаточно сложно. Целесообразно прибегнуть к математическому моделированию процессов теплообмена в исследуемых объектах с целью последующего изучения этих закономерностей с помощью компьютера (рис. 1, 2).

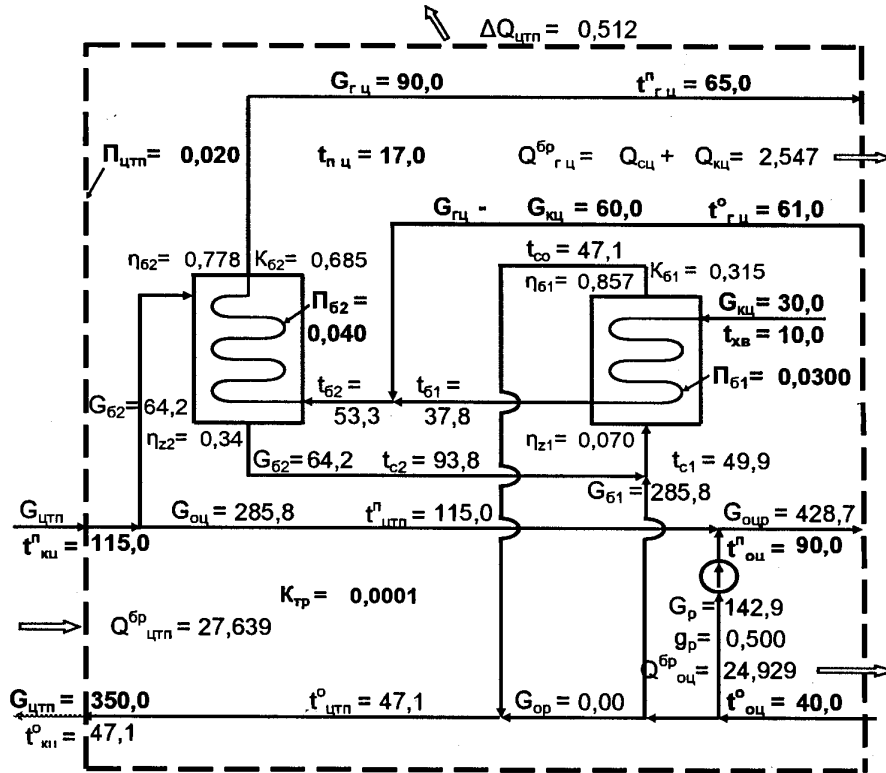


Рис. 1. Расчетная схема ЦТП по данным в табл. 1. Режим 2. Исходные данные, необходимые для расчетов, выделены жирным шрифтом

Таблица 1

Расчетные показатели ЦТП. Исходные данные выделены жирным шрифтом

Обозн.	$G_{цтп}$	$G_{оц}$	$G_{опр}$	$G_{гц}$	$G_{кц}$	G_{61}	G_{62}	g_p
Реж.1	350	332,3	498,4	90,0	30,0	16,2	17,7	0,5
Реж.2	350	285,8	428,7	90,0	30,0	285,8	64,2	0,5
Разм.	т/ч	т/ч	т/ч	т/ч	т/ч	т/ч	т/ч	—
Обозн.	G_p	$G_{ор}$	$t_{кц}^n$	$t_{кц}^o$	$\Delta t_{тр}^{по}$	$t_{цтп}^n$	$t_{цтп}^o$	$t_{оц}^n$
Реж. 1	166,1	316,1	115,0	37,1	6E-05	115,0	37,1	90,0
Реж.2	142,9	0,0	115,0	47,1	6E-05	115,0	47,1	90,0
Разм.	т/ч	т/ч	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Обозн.	$t_{оц}^o$	$t_{гц}^n$	$t_{гц}^o$	$t_{со}$	$t_{с1}$	$t_{с2}$	t_{61}	t_{62}
Реж.1	40,0	65,0	61,0	10,6	50,1	59,2	50,1	57,4
Реж.2	40,0	65,0	61,0	47,1	49,9	93,8	37,8	53,3
Разм.	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C

Обозн.	$t_{хв}$	$t_{шт}$	$t_{нуц}$	$K_{тр}$	$K_{б1}$	$K_{б2}$	$\Delta\tau_{б1}$	$\Delta\tau_{б2}$
Реж. 1	10,0	17,0	-5,0	0,0001	0,3152	0,6847	0,28	19,06
Реж. 2	10,0	17,0	-5,0	0,0001	0,3152	0,6847	22,72	45,15
Разм.	°С	°С	°С	-	-	-	°С	°С
Обозн.	η_{z1}	η_{z2}	$\eta_{б1}$	$\eta_{б2}$	Z_1	Z_2	$\Delta Q_{тр}$	$\Delta Q_{б1}$
Реж. 1	0,986	0,967	0,897	0,696	0,4549	0,8642	5E-05	0,161
Реж. 2	0,070	0,343	0,857	0,778	0,0532	0,4056	5E-05	0,161
Разм.	-	-	-	-	-	-	МВт	МВт
Обозн.	$\Delta Q_{б2}$	$\Delta Q_{штп}$	$\Pi_{б1}$	$\Pi_{б2}$	$\Pi_{штп}$	$Q_{б1}^{бп}$	$Q_{б1}^{нет}$	$Q_{б2}^{бп}$
Реж. 1	0,350	0,512	0,035	0,047	0,023	1,559	1,398	1,151
Реж. 2	0,350	0,512	0,035	0,047	0,023	1,130	0,969	1,579
Разм.	МВт	МВт	МВт/град			МВт	МВт	МВт
Обозн.	$Q_{б2}^{нет}$	$Q_{штп}^{бп}$	$Q_{штп}^{нет}$	$Q_{оц}^{бп}$	$Q_{гц}^{бп}$	$\eta_{штп}^{зд}$		
Реж. 1	0,800	31,691	31,179	28,981	2,547	98,385		
Реж. 2	1,229	27,639	27,127	24,929	2,547	98,149		
Разм.	МВт	МВт	МВт	МВт	МВт	%		

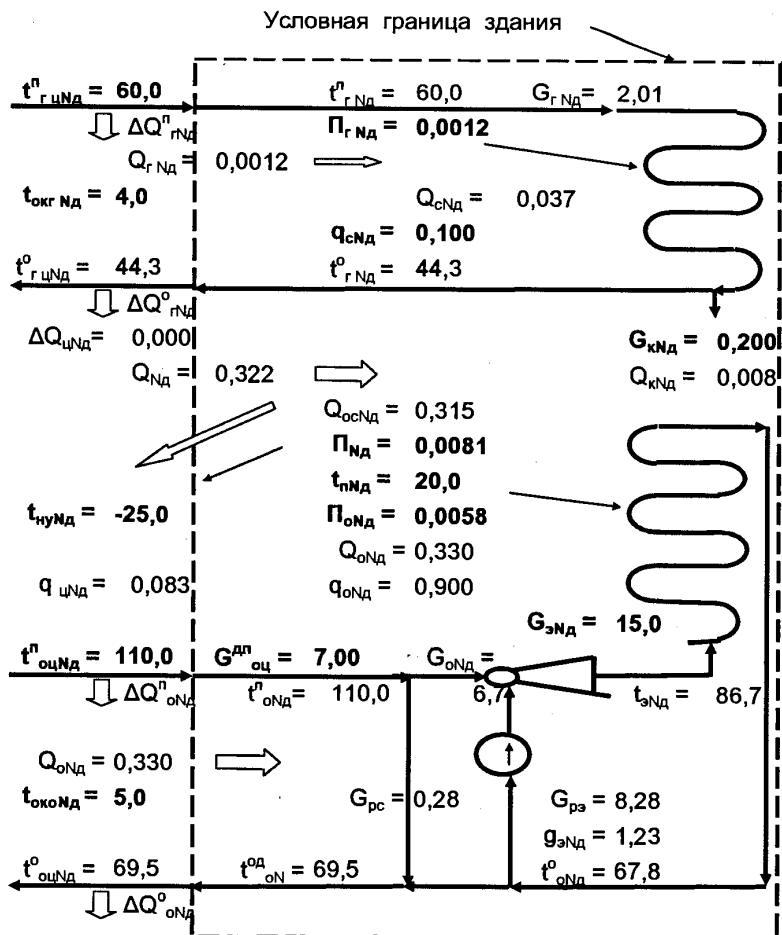


Рис. 2. Расчетная схема теплоснабжения жилого дома по данным табл. 2. Режим 1. Исходные данные, необходимые для расчетов, выделены жирным шрифтом

Таблица 2

Исходные данные выделены жирным шрифтом

Обозн.	$G_{\text{оц}}^{\text{д}}$	$G_{\text{эНд}}$	$G_{\text{кНд}}$	$C_{\text{кНд}}$	$q_{\text{сНд}}$	$t_{\text{оцНд}}^{\text{п}}$	$t_{\text{гцНд}}^{\text{п}}$	$t_{\text{хв}}$
Реж. 1	7,00	15,00	0,200	0,100	0,100	110,0	60,0	10,0
Реж. 2	7,00	15,00	0,200	0,454	0,100	110,0	60,0	10,0
Разм.	т/ч	т/ч	т/ч	–	–	град	град	град
Обозн.	$G_{\text{оНд}}$	$G_{\text{гНд1}}$	$G_{\text{рз}}$	$G_{\text{рс}}$	$t_{\text{пНд}}$	$t_{\text{нвНд}}$	$t_{\text{окоНд}}$	$t_{\text{окгНд}}$
Реж. 1	6,72	2,01	8,28	0,28	20,0	-25,0	5,0	4,0
Реж. 2	2,14	0,44	12,86	4,86	20,0	-2,5	5,0	4,0
Разм.	т/ч	т/ч	т/ч	т/ч	град.	град.	град.	град.
Обозн.	$t_{\text{оНд}}^{\text{п}}$	$t_{\text{эНд}}$	$T_{\text{оНд}}^{\text{о}}$	$T_{\text{оНд}}^{\text{о}}$	$T_{\text{гНд}}^{\text{п}}$	$T_{\text{гНд}}^{\text{о}}$	$\Pi_{\text{оНд}}$	$\Pi_{\text{гНд}}$
Реж. 1	110,0	86,7	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-3}
Реж. 2	110,0	53,3	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-3}
Разм.	град	град	МВт/град					
Обозн.	$\Pi_{\text{Нд}}$	R	$g_{\text{эНд}}$	$\rho_{\text{оцНд}}^{\text{д}}$	$\rho_{\text{оНд}}^{\text{д}}$	$\rho_{\text{оНд}}^{\text{д}}$	$\rho_{\text{гНд}}^{\text{д}}$	$\rho_{\text{цНд}}^{\text{д}}$
Реж. 1	$8 \cdot 10^{-3}$	0,552	1,233	69,5	69,5	67,8	60,0	44,3
Реж. 2	$8 \cdot 10^{-3}$	0,857	5,994	89,7	89,7	43,9	59,9	24,0
Разм.	МВт/град	–	–	град	т/ч	град	град	град
Обозн.	$\rho_{\text{гНд}}^{\text{д}}$	$q_{\text{оНд}}$	$Q_{\text{Нд}}$	$Q_{\text{оэНд}}$	$Q_{\text{оНд}}$	$Q_{\text{гНд}}$	$Q_{\text{сНд}}$	$Q_{\text{кНд}}$
Реж. 1	44,3	0,900	0,374	0,366	0,330	0,045	0,037	0,008
Реж. 2	24,1	0,900	0,186	0,183	0,165	0,022	0,018	0,003
Разм.	град	–	МВт	МВт	МВт	МВт	МВт	МВт
Обозн.	$\Delta Q_{\text{цтпНд}}$	$Q_{\text{цНд}}$	$q_{\text{цНд}}$					
Реж. 1	$3 \cdot 10^{-4}$	0,375	0,08					
Реж. 2	$3 \cdot 10^{-4}$	0,187	0,17					
Разм.	МВт	МВт	%					

В качестве теплотехнической характеристики исследуемого объекта [1] предлагается использовать комплекс $\Pi_{\text{об}} = K_{\text{об}} F_{\text{об}}$, где $K_{\text{об}}$ – условный коэффициент теплопередачи через некоторую виртуальную поверхность $F_{\text{об}}$ исследуемого объекта. В теплофизическом смысле показатель $\Pi_{\text{об}}$ представляет собой поток теплоты через поверхность объекта при перепаде температур в один градус. Для каждого здания предлагается установить семь таких комплексов. Два из них – для отопительных приборов $\Pi_{\text{гНд}}$ (например, сушил по линии горячего водоснабжения здания) и для приборов по отоплению зданий сетевой водой $\Pi_{\text{оНд}}$ (например, радиаторов). Третий комплекс $\Pi_{\text{Нд}}$ характеризует теплотери здания в целом. Четыре остальных комплекса (обозначим их символом T) характеризуют уровень теплотери в прямых и обратных трубопроводах от ЦТП к дому: по горячему водоснабжению ($T_{\text{гНд}}^{\text{п}}$ и $T_{\text{гНд}}^{\text{о}}$) и отоплению ($T_{\text{оНд}}^{\text{п}}$ и $T_{\text{оНд}}^{\text{о}}$) исследуемого здания. Аналогичные комплексы (показатели) вводятся в качестве теплотехнических характеристик ЦТП: $\Pi_{\text{б1}}$ и $\Pi_{\text{б2}}$ для бойлеров 1-й и 2-й ступеней, а также для помещения ЦТП в целом $\Pi_{\text{цтп}}$. В рассматриваемой модели исследуемого комплекса теплотери через ограждающие поверхности ЦТП ($\Delta Q_{\text{цтп}}$) складываются из трех составляющих: теплотери $\Delta Q_{\text{б1}}$, $\Delta Q_{\text{б2}}$ – через ограждающие поверхности обоих теплообменников и теплотери $\Delta Q_{\text{тр}}$ – через изоляцию теплопроводов прямой и обратной сетевой воды на территории ЦТП, т. е. $\Delta Q_{\text{цтп}} = \Delta Q_{\text{б1}} + \Delta Q_{\text{б2}} + \Delta Q_{\text{тр}}$. Применительно к домам аналогично считаем, что теплотери через ограждающие поверхности

зданий определяются двумя составляющими: затратой теплоты на отопительные приборы горячего водоснабжения $Q_{\text{снд}}$ (т. е. сушила без учета потерь теплоты $Q_{\text{кнд}}$ со сливной водой с массой $G_{\text{кнд}}$) и затратой теплоты $Q_{\text{онд}}$ на отопление сетевой водой (т. е. суммарное тепловыделение в доме $Q_{\text{оснд}} = Q_{\text{онд}} + Q_{\text{снд}}$). Соответственно в долевом отношении это составит $q_{\text{снд}} = Q_{\text{снд}} / Q_{\text{оснд}}$ и $q_{\text{онд}} = Q_{\text{онд}} / Q_{\text{оснд}}$, т. е. $q_{\text{снд}} + q_{\text{онд}} = 1$.

Значения упомянутых комплексов (в общем случае Π_i и T_i) положены в основу разработки математической модели системы теплоснабжения. Это позволит использовать имеющийся потенциал (возможности) теплоносителя на входе и выходе из ЦТП, а также теплоисточника в целом. В дальнейшем такая модель системы теплоснабжения позволит разрабатывать соответствующие нормативные документы, необходимые для планирования тепловых ресурсов и выполнения соответствующих прогнозов.

Очевидно, что при такой постановке вопроса требуется разработка программ по двум направлениям расчетов: первого – по исследованию и определению упомянутых комплексов Π_i и T_i , второго – по исследованию и оптимизации режимов теплоснабжения на основе выявленных комплексов Π_i и T_i . На данном этапе решения поставленной задачи полагаем, что в известных диапазонах температур наружного воздуха комплексы Π_i и T_i постоянны.

Массовые и температурные показатели системы теплоснабжения (ЦТП и домов) определяются на основании известных уравнений теплового и материального балансов как в первой, так и во второй программах. Поэтому нет необходимости подробно останавливаться на их описании. По первой программе упомянутые комплексы Π_i и T_i вычисляются на основании соответствующих измерений в ЦТП и домах. По второй программе массовые и температурные показатели исследуемого объекта находятся на основании установленных комплексов Π_i и T_i . Обработка соответствующих материалов по обеим программам выполняется на компьютере.

Ниже изложим только те взаимосвязи, которые дополнительно к упомянутым уравнениям теплового и материального балансов отражают установленную модель процессов теплообмена в исследуемом объекте (рис. 1):

$$\eta_{Z1} = (t_{c1} - t_{co})(t_{c1} - t_{xb})^{-1} = Z_1 - R_{Z1} [1 - (G_{61} + G_{62})G_{ку}^{-1}E_1]^{-1}; \quad (1)$$

$$\eta_{Z2} = (t_{цтп}^n - t_{c2})(t_{цтп}^n - t_{62})^{-1} = Z_2 - R_{Z2} [1 - G_{62}G_{ту}^{-1}E_2]^{-1}, \quad (2)$$

где в соответствии с [2] η_{Z1} и η_{Z2} – коэффициенты использования максимальных температурных напоров в подогревателях с противоточным движением теплоносителей; $Z_1, Z_2, R_{Z1}, R_{Z2}, E_1, E_2$ – вспомогательные функции,

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

$$Z_2 = (1 - E_2) [1 - G_{62}G_{ту}^{-1}E_2]^{-1};$$

$$R_{Z1} = \Delta Q_{61} \left\{ [(CG_{кц})^{-1} + \Pi_{61}^{-1}] E_1 - \Pi_{61}^{-1} (t_{c1} - t_{xb})^{-1}; \right.$$

$$R_{Z2} = \Delta Q_{62} \left\{ [(CG_{гц})^{-1} + \Pi_{62}^{-1}] E_2 - \Pi_{62}^{-1} (t_{цтп}^n - t_{62})^{-1}; \right.$$

$$E_1 = \exp \left\{ -C^{-1} [(G_{61} + G_{62})^{-1} - G_{кц}^{-1}] \Pi_{61} \right\};$$

$$E_2 = \exp \left\{ -C^{-1} (G_{62}^{-1} - G_{гц}^{-1}) \Pi_{62} \right\};$$

$$\Delta Q_{61} = C [(G_{61} + G_{62})(t_{c1} - t_{c0}) - G_{кц}(t_{61} - t_{xb})];$$

$$\Delta Q_{62} = C [G_{62}(t_{цтп}^n - t_{c2}) - G_{гц}(t_{гц}^n - t_{62})].$$

В целом по ЦТП

$$\Pi_{цтп} = \Delta Q_{цтп} (t_{пц} - t_{нц})^{-1}. \quad (3)$$

На основании уравнений баланса потери в ЦТП представляют собой разность между потоками теплоты на входе и выходе:

$$\Delta Q_{цтп} = Q_{цтп}^{вх} - Q_{цтп}^{вых}; \quad (4)$$

$$Q_{цтп}^{вх} = CG_{кц} (t_{кц}^n - t_{кц}^p); \quad (5)$$

$$Q_{цтп}^{вых} = C [G_{оцр} (t_{оц}^n - t_{оц}^p) + G_{гц} (t_{гц}^n - t_{гц}^p) + G_{кц} (t_{гц}^p - t_{xb})]. \quad (6)$$

Определим потери теплоты через изоляцию теплопроводов на территории ЦТП

$$\Delta Q_{тр} = \Delta Q_{цтп} - \Delta Q_{62} - \Delta Q_{61}.$$

Применительно к домам значения $\Pi_{гнд}$ и $\Pi_{онд}$ являются соответствующими аргументами в уравнениях теплового баланса и теплопередачи:

$$Q_{гнд} = CG_{гнд} (t_{гнд}^n - t_{гнд}^p) = \Pi_{гнд} \Delta \tau_{гнд}; \quad (7)$$

$$Q_{онд} = CG_{оц}^д (t_{онд}^n - t_{онд}^p) = CG_{онд} (t_{онд}^n - t_{онд}^p) = CG_{энд} (t_{энд} - t_{онд}^p) = \Pi_{онд} \Delta \tau_{онд}, \quad (8)$$

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

$$\Delta \tau_{гнд} = (\Delta t_{гнд}^{\beta} - \Delta t_{гнд}^M) \ln^{-1} \left(\frac{\Delta t_{гнд}^{\beta}}{\Delta t_{гнд}^M} \right); \quad (9)$$

$$\Delta\tau_{\text{оНд}} = \left(\Delta t_{\text{оНд}}^{\bar{\rho}} - \Delta t_{\text{оНд}}^{\text{М}} \right) \ln^{-1} \left(\frac{\Delta t_{\text{оНд}}^{\bar{\rho}}}{\Delta t_{\text{оНд}}^{\text{М}}} \right). \quad (10)$$

Имея в виду, что (схема к табл. 2): $\Delta t_{\text{гНд}}^{\bar{\rho}} = t_{\text{гНд}}^{\bar{\rho}} - t_{\text{пНд}}$; $\Delta t_{\text{гНд}}^{\text{М}} = t_{\text{гНд}}^{\text{М}} - t_{\text{пНд}}$ и $\Delta t_{\text{оНд}}^{\bar{\rho}} = t_{\text{оНд}}^{\bar{\rho}} - t_{\text{пНд}}$; $\Delta t_{\text{гНд}}^{\text{М}} = t_{\text{оНд}}^{\text{М}} - t_{\text{пНд}}$, на основании (7)–(10) определяем:

$$\Pi_{\text{гНд}} = CG_{\text{гНд}} \ln \left[\left(t_{\text{гНд}}^{\bar{\rho}} - t_{\text{пНд}} \right) \left(t_{\text{гНд}}^{\text{М}} - t_{\text{пНд}} \right)^{-1} \right]; \quad (11)$$

$$\Pi_{\text{оНд}} = CG_{\text{оНд}} \ln \left[\left(t_{\text{оНд}}^{\bar{\rho}} - t_{\text{пНд}} \right) \left(t_{\text{оНд}}^{\text{М}} - t_{\text{пНд}} \right)^{-1} \right]. \quad (12)$$

В целом по отапливаемому зданию имеем

$$\Pi_{\text{Нд}} = (Q_{\text{оНд}} + Q_{\text{гНд}}) (t_{\text{пНд}} - t_{\text{хуНд}})^{-1}. \quad (13)$$

Процесс, характеризующий теплопотери на горячеводных и отопительных участках от ЦТП до дома, определим на основании уравнений теплопередачи.

Для прямых и обратных трубопроводов горячего водоснабжения и отопления имеем:

$$CG_{\text{гНд}} (t_{\text{гц}}^{\bar{\rho}} - t_{\text{гНд}}^{\bar{\rho}}) = T_{\text{гНд}}^{\bar{\rho}} \Delta\tau_{\text{гНд}}^{\bar{\rho}}; \quad (14)$$

$$C(G_{\text{гНд}} - G_{\text{кНд}}) (t_{\text{гНд}}^{\text{М}} - t_{\text{гцНд}}^{\text{М}}) = T_{\text{гНд}}^{\text{М}} \Delta\tau_{\text{гНд}}^{\text{М}}; \quad (15)$$

$$CG_{\text{оНд}} (t_{\text{оц}}^{\bar{\rho}} - t_{\text{оНд}}^{\bar{\rho}}) = T_{\text{оНд}}^{\bar{\rho}} \Delta\tau_{\text{оНд}}^{\bar{\rho}}; \quad (16)$$

$$CG_{\text{оНд}} (t_{\text{оНд}}^{\text{М}} - t_{\text{оцНд}}^{\text{М}}) = T_{\text{оНд}}^{\text{М}} \Delta\tau_{\text{оНд}}^{\text{М}}; \quad (17)$$

где на выходе из ЦТП: $t_{\text{гцНд}}^{\bar{\rho}} \neq t_{\text{гц}}^{\bar{\rho}}$ и $t_{\text{оцНд}}^{\text{М}} \neq t_{\text{оц}}^{\text{М}}$.

Температурные напоры между теплоносителями и окружающей средой определим:

$$\Delta\tau_{\text{гНд}}^{\bar{\rho}} = 0,5(t_{\text{гц}}^{\bar{\rho}} + t_{\text{гНд}}^{\bar{\rho}}) - t_{\text{ок}}; \quad (18)$$

$$\Delta\tau_{\text{гНд}}^{\text{М}} = 0,5(t_{\text{гНд}}^{\text{М}} + t_{\text{гцНд}}^{\text{М}}) - t_{\text{ок}}; \quad (19)$$

$$\Delta\tau_{\text{оНд}}^{\bar{\rho}} = 0,5(t_{\text{оц}}^{\bar{\rho}} + t_{\text{оНд}}^{\bar{\rho}}) - t_{\text{ок}}; \quad (20)$$

$$\Delta\tau_{\text{оНд}}^{\text{М}} = 0,5(t_{\text{оНд}}^{\text{М}} + t_{\text{оцНд}}^{\text{М}}) - t_{\text{ок}}. \quad (21)$$

В процессе изучения теплотехнических характеристик домов и ЦТП по первой программе значения комплексов $\Pi_{\text{б1}}$, $\Pi_{\text{б2}}$, $\Pi_{\text{гНд}}$, $\Pi_{\text{оНд}}$, $T_{\text{гНд}}^{\bar{\rho}}$, $T_{\text{гНд}}^{\text{М}}$, $T_{\text{оНд}}^{\bar{\rho}}$, $T_{\text{оНд}}^{\text{М}}$ определяем на основании решения системы трансцендентных уравнений (1), (2), (11), (12), (14)–(21). Комплекс $\Pi_{\text{Нд}}$ вычисляем на осно-

вании (11). Комплекс $\Pi_{\text{цтп}}$ находим по (3). Величину теплопотерь $\Delta Q_{\text{цтп}}$ рассчитываем на основании (4). При заданных температурах $t_{\text{кц}}^{\text{л}}$ и $t_{\text{кц}}^{\text{р}}$ на входе в здание ЦТП уравнение теплового баланса (4) относительно $\Delta Q_{\text{цтп}}$ остается линейным. В случае вычисления величины $\Delta Q_{\text{цтп}}$ на основании заданных температур $t_{\text{цтп}}^{\text{л}}$ и $t_{\text{цтп}}^{\text{р}}$ учитываем степень охлаждения воды в пределах ЦТП таким образом: $t_{\text{цтп}}^{\text{л}} = t_{\text{кц}}^{\text{л}} - \Delta t_{\text{тр}}$ и $t_{\text{цтп}}^{\text{р}} = t_{\text{кц}}^{\text{р}} + \Delta t_{\text{тр}}$. Здесь, руководствуясь сугубо формальным соблюдением принципа принятой модели исследуемого комплекса, с достаточной точностью определяем: $\Delta t_{\text{тр}} = 0,5 \Delta Q_{\text{цтп}} K_{\text{тр}} C^{-1} G_{\text{цтп}}^{-1}$. Коэффициент $K_{\text{тр}} = \frac{\Delta Q_{\text{тр}}}{\Delta Q_{\text{цтп}}}$ – доля теплоты, теряемой теплопроводами сетевой воды в пределах ЦТП. Соответственно для обоих теплообменников: $K_{\text{б1}} = \frac{\Delta Q_{\text{б1}}}{\Delta Q_{\text{цтп}}}$ и $K_{\text{б2}} = \frac{\Delta Q_{\text{б2}}}{\Delta Q_{\text{цтп}}}$. При этом $K_{\text{тр}} + K_{\text{б1}} + K_{\text{б2}} = 1$. В результате введения в уравнение (4) зависимостей $t_{\text{кц}}^{\text{л}} = t_{\text{цтп}}^{\text{л}} + \Delta t_{\text{тр}}$ и $t_{\text{кц}}^{\text{р}} = t_{\text{цтп}}^{\text{р}} + \Delta t_{\text{тр}}$ линейное изменение $\Delta Q_{\text{цтп}}$ принимает вид квадратного уравнения типа $A \Delta Q_{\text{цтп}}^2 + B \Delta Q_{\text{цтп}} + C = 0$ и решается общеизвестными методами.

Численные исследования на компьютере свидетельствуют о большом разнообразии режимов работы системы теплоснабжения. Сопоставим показатели работы ЦТП (табл. 1), в частности в режимах 1 и 2. В обоих режимах теплоснабжение каждого дома от ЦТП, с точки зрения качества (температур) и количества (расходов воды) теплоносителя, одинаково. Различие заключается в том, что в режиме 1 суммарный расход воды на отопление зданий $G_{\text{отп}} = 498,4$ т/ч, а в режиме 2 $G_{\text{отп}} = 428,7$ т/ч, т. е. несколько меньше. Это вызвано тем, что в режиме 2 поток $G_{\text{ор}} = 0$, т. е. перекрыт, в то время как в режиме 1 он составляет $G_{\text{ор}} = 316,1$ т/ч. В конечном итоге это сказывается на соответствующих изменениях отборных потоков обратной $G_{\text{б1}}$ и прямой $G_{\text{б2}}$ сетевой воды на бойлеры. Вследствие этого температура обратной сетевой воды $t_{\text{кц}}^{\text{р}}$ на возврате в энергоисточник из ЦТП в режиме 1 ниже ($t_{\text{кц}}^{\text{р}} = 37,1$), чем в режиме 2 ($t_{\text{кц}}^{\text{р}} = 47,1$) на 10 °С. Тепловая нагрузка (теплоспособность) ЦТП в режиме 1 ($Q_{\text{отп}}^{\text{рп}} = 24,919$; $Q_{\text{цтп}}^{\text{рп}} = 27,249$) оказывается больше, чем в режиме 2 ($Q_{\text{отп}}^{\text{рп}} = 21,435$; $Q_{\text{цтп}}^{\text{рп}} = 23,765$) соответственно на $\Delta Q_{\text{отп}}^{\text{рп}} = \Delta Q_{\text{цтп}}^{\text{рп}} = 3,484$ Гкал/ч. Кроме того, в режиме 2 значительно больше нагрузка бойлеров по сетевой воде (в режиме 1: $G_{\text{б1}} = 16,2$; $G_{\text{б2}} = 17,7$; в режиме 2: $G_{\text{б1}} = 285,8$; $G_{\text{б2}} = 64,2$).

Из сопоставления приведенных расчетов следует, что, с точки зрения оценок теплоспособности и гидравлических сопротивлений, работа ЦТП по режиму 1 по сравнению с режимом 2 имеет свои преимущества.

Аналогично анализ данных, приведенных в табл. 2, по системе теплоснабжения домов представляет практический интерес. Основное различие между режимами 1, 2 – это разные значения температур наружного возду-

ха: в режиме 1 – $t_{\text{чуНд}} = -25,0$ °С, в режиме 2 – $t_{\text{чуНд}} = -2,5$ °С. В обоих режимах циркуляции сетевой воды в наружном контуре теплосети и в пределах дома остаются неизменными. Температуры прямой воды по горячему водоснабжению и отоплению от ЦТП ($t_{\text{цНд}}^{\text{п}} = t_{\text{ц}}^{\text{п}}$; $t_{\text{оНд}}^{\text{п}} = t_{\text{оц}}^{\text{п}}$) также остаются неизменными. Температура в помещениях регулируется температурой воды в отопительных приборах на входе: в режиме 1 – $t_{\text{эНд}} = 86,7$; в режиме 2 – $t_{\text{эНд}} = 53,3$. В результате также изменяется температура обратной воды: в режиме 1 – $t_{\text{оНд}} = 67,8$; в режиме 2 – $t_{\text{оНд}} = 43,9$. Такой эффект достигается путем организации так называемой каскадной схемы питания (КСП) системы отопления дома [3]: установкой сбросной линии $G_{\text{рс}}$ и насоса рециркуляции $G_{\text{рз}}$ обратной воды после отопительных приборов.

ВЫВОДЫ

Приведенные материалы рекомендуются для разработки комплекса программных средств, позволяющих:

- 1) производить обработку опытных данных (полученных путем измерения штатными приборами в ИТП для выявления и изучения соответствующих характеристик отапливаемых зданий и примыкающих к ним теплотрасс;
- 2) осуществлять обработку опытных данных для выявления и изучения соответствующих характеристик оборудования ЦТП;
- 3) при аудиторских проверках давать оценку системы теплоснабжения путем обработки данных измерений на ЦТП и ИТП;
- 4) изыскивать рациональные методы организации и регулирования режимов отопления зданий, разноудаленных от ЦТП и с разными гидравлическими характеристиками;
- 5) разрабатывать температурные графики прямой и обратной воды для каждого объекта теплоснабжения (дома) в отдельности и формировать на этой основе общий (среднеинтегральный) температурный график, который следует выдерживать на ЦТП;
- 6) определять оптимальные параметры теплоносителя, поступающего на ЦТП от энергоисточника (котельной);
- 7) разрабатывать оптимальные режимы работы ЦТП в комплексе с объектами теплоснабжения согласно лимитированному (согласованному) температурному графику прямой сетевой воды в условиях эксплуатации;
- 8) производить расчет режимов теплоснабжения домов с качественным и количественным регулированием тепловых нагрузок, а также при условии постоянных параметров теплоносителя на выходе из энергоисточника до входа в ИТП;
- 9) изучать режимы работы ЦТП при разных нагрузках подмешивающего насоса;
- 10) изучать режимы работы ЦТП при разных распределениях расходов сетевой воды между 1-й и 2-й ступенями подогревателя;
- 11) изучать влияние величины горячего водоразбора на температурный и гидравлический режимы работы ЦТП в целом;

12) изучать влияние теплотехнических характеристик отопительных приборов в ЦТП, состояние теплоизоляции труб и здания в целом на величину теплопотерь в ЦТП;

13) выявлять оптимальные режимы работы ЦТП, направленные на снижение температуры и расхода теплоносителя от энергоисточника;

14) выполнять ряд расчетов познавательного характера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байрашевский, Б. А. Оценка теплопотерь и эффективности работы теплосетей / Б. А. Байрашевский // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. ФТН. – 2004. – № 4.

2. Байрашевский, Б. А. Влияние теплопотерь в окружающую среду на температурный режим работы теплообменников // Б. А. Байрашевский, Н. П. Борушко // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. ФТН. – 2000. – № 2.

3. Байрашевский, Б. А. Стабилизация теплового и гидравлического режимов работы теплосетей / Б. А. Байрашевский // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. ФТН. – 2005. – № 4.

Поступила 14.02.2006

УДК 621.4:536.46

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

Канд. техн. наук АССАД М. С.

Барановичский государственный университет

Использование альтернативных моторных топлив в двигателях внутреннего сгорания требует всестороннего изучения их влияния на процесс сгорания, который характеризуется главным образом изменением скоростей химической реакции горения и распространения фронта пламени в камере сгорания в зависимости от режима работы двигателя. Для исследования физической картины распространения пламени при горении альтернативных моторных топлив была использована экспериментальная установка, представляющая собой закрытый сосуд в виде прозрачной камеры сгорания цилиндрической формы, постоянного объема, внутренним диаметром 80 мм и высотой 32 мм (рис. 1). Воспламенение топливовоздушной смеси производилось свечой зажигания, установленной в цилиндрической стенке модельной камеры.

Важнейшей характеристикой процесса горения топливовоздушных смесей является скорость распространения пламени. При ламинарном горении в модельной камере сгорания имеют место два вида скоростей: нормальная и линейная скорости, которые можно охарактеризовать следующим образом. Нормальной, или фундаментальной, скоростью пламени v_n