

## МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ С ПОСТОЯННЫМ РАСХОДОМ НАГРЕВАЕМОЙ СРЕДЫ

В.В. ПОПАЛОВ, Л.И. ЖМАКИН

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина)

Известно, что графики регулирования тепловых нагрузок для теплообменников систем отопления и горячего водоснабжения, а также воздушных калориферов вентиляционных и отопительных систем строятся на основании уравнений, предложенных Е.Я.Соколовым [1]:

$$Q = \varepsilon W_M \vartheta, \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{a \frac{W_M}{W_B} + b + \frac{W_M}{kF}} \leq \varepsilon^*, \quad (2)$$

$$kF = \Phi W_{\Pi}^{m_1} W_{BT}^{m_2}. \quad (3)$$

С целью сокращения числа переменных и получения универсальных зависимостей для построения графиков регулирования будем использовать относительные величины, равные отношению значений переменных в нерасчетном и расчетном режимах работы (все расчетные характеристики имеют верхний штриховой индекс). Поскольку соотношение между расходами теплоносителей заранее не известно, примем, что меньший эквивалент расхода имеет сетевая вода, а больший – нагреваемая среда, то есть  $W_M = W_{\Pi}$ ;  $W_B = W_{BT}$ .

Преобразуем параметр  $\varepsilon$  в соответствии с принятым допущением

$$\varepsilon = \frac{1}{a \frac{\delta t'}{\delta \tau'} \bar{W}_{\Pi} + b + \frac{\bar{W}_{\Pi}}{\bar{W}_{\Pi}^{m_1}} \frac{\Delta t'}{\delta \tau'}}, \quad (4)$$

где  $\delta \tau' = \tau'_1 - \tau'_2$ ;  $\delta t' = t'_2 - t'_1$  – разности температур сетевой воды и нагреваемой в теплообменнике среды (в расчетном режиме), а  $\Delta t'$  – температурный напор, который определяется по формуле [1]:

$$\Delta t' = \vartheta' - a \delta t'_M - b \delta t'_B, \quad (5)$$

причем  $\delta t'_M$  и  $\delta t'_B$  соответствуют меньшему и большему из значений  $\delta \tau'$  и  $\delta t'$ .

Из уравнения теплового баланса сетевой воды в расчетном режиме и формулы (1) относительная тепловая нагрузка теплообменника:

$$\bar{Q} = \varepsilon \bar{W}_{\Pi} \frac{\vartheta}{\delta \tau'}. \quad (6)$$

Привлекая соотношение (4), получим уравнение для расчета относительного эквивалента расхода сетевой воды

$$\bar{W}_{\Pi} = \frac{b}{\frac{\vartheta}{\bar{Q} \delta \tau'} - a \frac{\delta t'}{\delta \tau'} - \frac{\Delta t'}{\delta \tau' W_{\Pi}^{m_1}}}. \quad (7)$$

Это уравнение решается методом простой итерации с начальным приближением

$\bar{W}_{\Pi} = 1$ . После расчета проверяется корректность ранее принятого допущения  $W_M = W_{\Pi}$  с использованием формулы

$$\frac{W_{\Pi}}{W_{BT}} = \bar{W}_{\Pi} \frac{\delta t'}{\delta \tau'} \quad (8)$$

Если отношение в левой части (8) меньше единицы, то принятое ранее допущение справедливо. В противном случае меньший эквивалент расхода имеет вторичная среда, а больший – сетевая вода. Анализ показывает, что зависимость (7) будет справедливой и в этом случае, если в ней поменять местами коэффициенты  $a$  и  $b$ .

Уравнение (7) получено без учета неравенства  $\varepsilon \leq \varepsilon^*$ . Проверка проводится с использованием температуры сетевой воды на выходе из теплообменника:

$$\tau_2 = \tau_1 - \frac{\bar{Q}}{\bar{W}_{\Pi}} \delta \tau', \quad (9)$$

где  $\tau_1$  – температура сетевой воды на входе в теплообменник (определяется отопительно-бытовым графиком регулирования).

Величина  $\tau_2$  не должна быть ниже некоторого предельного значения  $\tau_2^*$ , которое равно  $\tau_{02}$  – для отопительного теплообменника;  $t_2$  – для воздушного калорифера системы отопления;  $t_{BP}$  – для калорифе-

ра системы вентиляции и  $t_x$  – для теплообменника бытового горячего водоснабжения.

Если условие  $\tau_2 \geq \tau_2^*$  не выполняется, следует принять  $\tau_2 = \tau_2^*$  и скорректировать значение  $\bar{W}_{\Pi}$  по формуле

$$\bar{W}_{\Pi} = \bar{Q} \frac{\delta \tau'}{\tau_1 - \tau_2^*} \quad \text{мм} \quad (10)$$

В качестве примера рассмотрим регулирование различных видов тепловой нагрузки при использовании отопительно-бытового графика регулирования со смешением на абонентском вводе. Расчеты проведены с помощью компьютерных программ для климатических условий г. Москвы, температурный график тепловой сети 150/70, параметры точки "излома" графика регулирования  $\tau'_1 = 70^\circ\text{C}$ ;  $t_{НИ} = 28^\circ\text{C}$ .

#### 1. Вентиляционная нагрузка.

При расчетах по уравнению (7) принято:  $\tau'_1 = 119,2^\circ\text{C}$ ;  $\tau'_2 = 59,6^\circ\text{C}$  (отопительно-бытовой график регулирования),  $t'_1 = t_{НВ} = -14^\circ\text{C}$ ;  $t'_2 = 16^\circ\text{C}$ , значения коэффициентов  $a=0,425$ ;  $b=0,65$ ;  $m_1=0,15$  (перекрестная схема движения потоков без смешения воздуха внутри теплообменника).

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

$t_{Н}, ^\circ\text{C}$	8	5	2,78	0	-5	-10	-14	-20	-25
$\tau_1, ^\circ\text{C}$	70	70	70	78,4	93,2	107,7	119,2	136,1	150
$\tau_2, ^\circ\text{C}$	19,6	28,0	33,5	37,8	45,6	53,4	59,6	56,2	52,7
$\bar{W}_{\Pi}$	0,315	0,521	0,719	0,783	0,877	0,952	1	0,746	0,612

В [1] указывается, что в диапазоне температур наружного воздуха от  $t_{НИ}$  до  $t_{НВ}$  осуществляется качественное регулирование. Но, как видно из табл. 1, отклонение  $\bar{W}_{\Pi}$  от единицы в точке  $t_{НИ}$  составляет около 28%, то есть регулятор РТ осуществляет количественное регулирование тепловой нагрузки. Это связано с тем, что вентиляционный калорифер по характеру

переноса теплоты отличается от радиаторных отопительных установок, параметры которых были использованы при построении графиков регулирования.

#### 2. Нагрузка бытового горячего водоснабжения.

В расчетах по уравнению (7) было принято:  $\tau'_1 = 70^\circ\text{C}$ ;  $\tau'_2 = 30^\circ\text{C}$ ,  $a=0,35$ ;  $b=0,65$ ;  $m_1=0,5$ ;  $t'_1 = 5^\circ\text{C}$ ;  $t'_2 = 60^\circ\text{C}$  (про-

Таблица 2

$t_H, ^\circ\text{C}$	8	5	2,78	0	-5	-10	-14	-20	-25
$\tau_2, ^\circ\text{C}$	30,0	30,0	30,0	22,7	19,1	15,1	11,7	6,4	1,8
$\bar{W}_\Pi$	1	1	1	0,719	0,540	0,432	0,372	0,308	0,270

Поскольку при температуре наружного воздуха  $t_H = -25^\circ\text{C}$  значение  $\tau_2$  оказалось меньше температуры холодной водопроводной воды  $t'_1 = -5^\circ\text{C}$ , проводится корректировка полученных данных. В результате получено:  $\tau_2 = 5^\circ\text{C}$ , а  $\bar{W}_\Pi = 0,276$ .

3. Отопительная нагрузка с использованием водоводяных теплообменников.

Согласно рекомендациям [2] в расчетах по уравнению (7) было принято:  $\tau'_1 = 150^\circ\text{C}$ ;  $\tau'_2 = 80^\circ\text{C}$ ;  $t'_1 = 70^\circ\text{C}$ ;  $t'_2 = 95^\circ\text{C}$ ;  $a=0,35$ ;  $b=0,65$ ; и  $m_1=0,5$  (противоточная схема движения теплоносителей).

Таблица 3

$t_H, ^\circ\text{C}$	8	5	2,78	0	-5	-10	-14	-20	-25
$\tau_2, ^\circ\text{C}$	33,4	40,5	45,2	49,1	55,8	62,1	67,0	74,2	80
$\tau_{01}, ^\circ\text{C}$	41,0	46,5	50,5	55,4	63,8	71,9	78,2	87,5	95
$\tau_{02}, ^\circ\text{C}$	35,2	39,0	41,7	44,9	50,4	55,6	59,6	65,4	70
$\bar{W}_\Pi$	0,444	0,717	1	1	1	1	1	1	1

Результаты расчетов представлены в табл. 3. Поскольку при  $t_H = 8^\circ\text{C}$  температура  $\tau_2$  меньше  $\tau_{02}$ , расчетные данные были скорректированы; в итоге получены следующие значения:  $\tau_2 = 35,2^\circ\text{C}$ ;  $\bar{W}_\Pi = 0,467$ .

4. Отопительная нагрузка с использованием воздушных калориферов.

В расчетах по уравнению (7) принято:  $\tau'_1 = 150^\circ\text{C}$ ;  $\tau'_2 = 70^\circ\text{C}$  (температурный график сети),  $t'_1 = 18^\circ\text{C}$ ;  $t'_2 = 60^\circ\text{C}$ ;  $a=0,425$ ;  $b=0,65$ ;  $m_1=0,15$  (перекрестная схема движения потоков без смешения воздуха внутри теплообменника). Результаты сведены в табл. 4.

Таблица 4

$t_H, ^\circ\text{C}$	8	5	2,78	0	-5	-10	-14	-20	-25
$\tau_2, ^\circ\text{C}$	29,2	33,7	36,5	39,9	45,9	51,9	56,8	64,0	70
$t_2, ^\circ\text{C}$	27,8	30,7	32,9	35,6	40,5	45,3	49,2	55,1	60
$\bar{W}_\Pi$	0,456	0,666	0,845	0,869	0,905	0,934	0,955	0,980	1

## ВЫВОДЫ

1. Разработана методика определения относительных эквивалентов расхода сетевой воды для теплообменников с постоянным расходом нагреваемой среды.

2. Представленная методика и результаты расчетов могут быть использованы для систем теплоснабжения с несвязанным регулированием (присоединение установок горячего водоснабжения по параллельной или двухступенчатой смешанной схеме включения).

3. Расчетные данные в узловых точках графиков регулирования тепловых нагрузок теплообменников позволяют прогнозировать расходы сетевой воды в течение отопительного периода, а также получать информацию о температурах сетевой воды в обратной магистрали после всех потребителей теплоты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: МЭИ, 1999.

2. *Зингер Н.М.* Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

Рекомендована кафедрой промышленной теплоэнергетики. Поступила 31.05.07.

---