

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ УТЕПЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

Полунин М.М., Димитрова Ж.В., Коваленко О.В., Полунин Ю.Н. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Досліджені особливості експлуатації опалювальних систем будівель з утепленими зовнішніми огороженнями при режимі центрального регулювання відпуску теплоти. Запропонована методика організації теплозабезпечення утеплених будівель при максимальному наближенні до оптимального режиму.

Сложившиеся объективные условия в сфере энергосбережения страны не только обострили целый комплекс существовавших проблем, но и усилили негативное влияние не игравших ранее значительной роли факторов.

Характерной особенностью крупных систем теплоснабжения является нижеследующее:

1. Существующие системы центрального теплоснабжения на базе ТЭЦ и районных котельных (РК) в силу недостаточного объема инвестиций в ремонт и замену трубопроводов, обновление теплогенераторов, оборудования и т.п. оказались не в состоянии обеспечивать качественное снабжение потребителей теплоты.

2. Ужесточенные нормативные [1;2;3] требования к теплозащитным характеристикам наружных ограждений зданий предопределили в условиях сложившейся застройки локальное подключение к сетям центрального теплоснабжения новых зданий с улучшенными тепловыми характеристиками.

3. Неудовлетворительное обеспечение теплотой существующих зданий побудило производить в частном порядке их утепление при сохранении формата подключения отопительных систем к тепловым сетям.

4. Расширение участия зарубежных и совместных с ними фирм вызвало оснащение систем отопления широким спектром конструкций нагревательных приборов, передающих теплоту помещениям в большом диапазоне изменения соотношения между конвективной и лучистой составляющими.

5. Невозможность всеобъемлющего обеспечения функционирующих различных отопительных аппаратов средствами индивидуальной их автоматизации приводит к устойчивому нарушению комфортных требований в обслуживаемых помещениях.

Исложенное указывает на актуальность проведения анализа работы систем отопления, с учетом отмеченных обстоятельств при подключении их к центральному тепловым сетям.

В крупных системах теплоснабжения (а именно они обеспечивают в настоящее время тепловой энергией основное количество городских потребителей) в качестве опорного режима центрального регулирования отпуска теплоты принимается режим качественного регулирования отопительной нагрузки, при котором расход теплоносителя, циркулирующего в системах отопления, сохраняется постоянным на всем диапазоне изменения температуры наружного воздуха от расчетной отопительной (температура холодной пятидневки) до наружной температуры, соответствующей «точке излома» температурного графика. Такой режим, хотя и не исключает разрегулировку систем отопления (имеет место недогрев первых по ходу теплоносителя приборов и перегрев последних «концевых»), однако величина этой регулировки незначительна. При этом существенно упрощается регулирование работы систем теплоснабжения в условиях ограниченного уровня автоматизации.

В режиме центрального качественного регулирования текущая температура  $\tau_1^X$  в подающем трубопроводе тепловых сетей поддерживается в соответствии [4;6] с уравнением

$$\tau_{1.кзч}^X = t_{в} + [0,5(t_r^p + t_o^p) - t_{в}] \varphi^{\frac{1}{1+m}} \quad (1)$$

где:  $t_{в}$  – расчетная температура воздуха внутри отапливаемых помещений, °С;  $t_r^p$  и  $t_o^p$  – расчетная температура теплоносителя в местной системе отопления соответственно в подающем и обратном трубопроводах, °С;  $\varphi$  – коэффициент изменения теплопотерь, равный

$$\varphi = (t_{в} - t_{н}^x) / (t_{в} - t_{но}^p); \quad (2)$$

$t_{н}^x$  и  $t_{но}^p$  – температура наружного воздуха соответственно текущая и расчетная отопительная, °С;  $U^p$  – расчетный коэффициент смешения, равный

$$U^p = (\tau_1^p - t_r^p) / (t_r^p - t_o^p); \quad (3)$$

$\tau_1^p$  – расчетная температура воды в подающем трубопроводе теплосети, °С;  $m$  – постоянный коэффициент, зависящий от типа отопительного прибора, изменяется в пределах  $m = 0,15 \div 0,5$ ; для чугунных секционных радиаторов  $m = 0,32$ .

Рассмотрим работу системы отопления утепленных зданий при подключении их к центральному тепловым сетям. Отметим, что утепление зданий приводит к уменьшению теплопотерь, а следовательно

установленная поверхность нагрева приборов оказывается завышенной, что ведет к перерасходу топлива, нарушению комфорта и неравномерности прогрева отопительных приборов (тепловая разрегулировка). Примем, что в результате утепляющих мероприятий теплотери снизились в  $\Psi$  раз по сравнению с неутепленным состоянием, то есть

$$\Psi = Q_{o,ут} / Q_o^p \quad (4)$$

где  $Q_{o,ут}$  и  $Q_o^p$  - теплотери соответственно при утеплении и расчетные при  $t_{н,о}^p$ , Вт.

Очевидно, что избежать перегрева помещений следует путем уменьшения расхода теплоносителя и его температуры на входе в систему отопления. Чтобы исключить разрегулировку, изменение расхода должно соответствовать [4;5] уравнению

$$\mu_{опт} = \varphi_o^{1+m} = \Psi^{1+m} \quad (5)$$

где  $\mu_{опт}$  - коэффициент изменения расхода теплоносителя в местной системе отопления, определяется по выражению

$$\mu_{опт} = G_{o,ут} / G_o^p \quad (6)$$

где  $G_{o,ут}$  и  $G_o^p$  - расходы воды в местной системе отопления, определяемые по зависимостям

$$G_{o,ут} = Q_{o,ут}^p / c(t_{г,ут} - t_{o,ут}) \quad (7)$$

$$G_o^p = Q_o^p / c(t_r^p - t_o^p) \quad (8)$$

$c$  – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·°C);  $t_{г,ут}$  и  $t_{o,ут}$  – необходимые температуры воды соответственно в подающем и обратном трубопроводах, в утепленных зданиях при изменении расхода теплоносителя в соответствии с уравнением (5), °C.

Значения  $t_{г,ут}$  и  $t_{o,ут}$  найдем из уравнений баланса

$$Q_{o,ут} = \Psi Q_o^p = \Psi c G_o^p (t_r^p - t_o^p) \quad (9)$$

$$Q_{o,ут} = \Psi^{1+m} c G_o^p (t_{г,ут} - t_{o,ут}) \quad (10)$$

откуда

$$t_{o,ут} = t_{г,ут} - \Psi^{1+m} (t_r^p - t_o^p) \quad (11)$$

Запишем приведенные в [6] уравнения в следующем виде

- с одной стороны

$$F_p = \frac{G_o}{mn} \left[ \frac{1}{(t_o^p - t_B)^m} - \frac{1}{(t_r^p - t_B)^m} \right] \quad (12)$$

С другой стороны, с учетом (11,12) и, принимая, в первом приближении, незначительное изменение  $t_B$ , получим

$$F_p = \frac{\Psi^{1+m} G_o^p}{mn} \left\{ \frac{1}{\left[ \left[ t_{г,ут} - \Psi^{1+m} (t_r^p - t_o^p) \right] - t_B \right]^m} - \frac{1}{(t_{г,ут} - t_B)^m} \right\} \quad (13)$$

где  $n$  – постоянный коэффициент, зависящий от типа отопительного прибора.

Из уравнений (12) и (13) получим в следующем виде рабочую формулу для определения значений  $t_{г,ут}$ , при котором, с учетом коэффициента изменения расхода теплоносителя в соответствии с зависимостью (5), отсутствует разрегулировка

$$\Psi^{1+m} \left\{ \frac{1}{\left[ \left[ t_{г,ут} - \Psi^{1+m} (t_r^p - t_o^p) \right] - t_B \right]^m} - \frac{1}{(t_{г,ут} - t_B)^m} \right\} = \left[ \frac{1}{(t_o^p - t_B)^m} - \frac{1}{(t_r^p - t_B)^m} \right] \quad (14)$$

Значения входящих в это уравнение интересующих нас параметров, полученные по уравнению (14), приведены в таблице 1. Здесь же указаны параметры оптимальных значений расчетного температурного напора  $\theta_{ут}^p$  отопительных приборов утепленных зданий и коэффициента смешения  $u_{ут}^p$  для последних соответственно по уравнениям

$$\theta_{ут}^p = [0,5(t_{г,ут} + t_{o,ут}) - t_B] \quad (15)$$

$$u_{ут}^p = (t_1^p - t_{г,ут}) / (t_{г,ут} - t_{o,ут}) \quad (16)$$

При вычислениях принималось:

$$t_1^p = 150^\circ\text{C}; t_r^p = 95^\circ\text{C}; t_o^p = 70^\circ\text{C}; t_B = 18^\circ\text{C}.$$

Из таблицы 1 видно, что для нормального функционирования систем отопления утепленных зданий требуется значительно увеличить коэффициент смешения в зависимости от степени утепления (коэффициент  $\Psi$ ).

По сравнению с традиционным  $u^p = 2,2$  при других значениях  $\varphi_{\text{доп}}$  заметным может оказаться также влияние типа нагревательного прибора (коэффициент  $m$ ).

Таблица 1. - Значения  $t_{\text{г.ут}}$ ,  $t_{\text{о.ут}}$ ,  $\theta_{\text{ут}}^p$  и  $u_{\text{ут}}^p$  для утепленных зданий

m	Параметры \ $\Psi$	0,5	0,7	0,9
0,15	$t_{\text{г.ут}}$	60,1	74,5	88,3
	$t_{\text{о.ут}}$	46,42	56,17	66,49
	$\theta_{\text{ут}}^p$	35,26	47,335	59,395
	$u_{\text{ут}}^p$	6,57	4,12	2,83
0,25	$t_{\text{г.ут}}$	60,2	75,9	88,7
	$t_{\text{о.ут}}$	47,84	57,11	65,72
	$\theta_{\text{ут}}^p$	37,02	48,51	59,21
	$u_{\text{ут}}^p$	6,11	3,94	2,67
0,32	$t_{\text{г.ут}}$	63,5	76,7	89,1
	$t_{\text{о.ут}}$	48,71	57,62	66,02
	$\theta_{\text{ут}}^p$	38,11	49,16	59,56
	$u_{\text{ут}}^p$	5,85	3,84	2,64
0,4	$t_{\text{г.ут}}$	64,9	77,4	89,4
	$t_{\text{о.ут}}$	49,66	58,02	66,21
	$\theta_{\text{ут}}^p$	39,28	49,71	59,81
	$u_{\text{ут}}^p$	5,58	3,75	2,61
0,5	$t_{\text{г.ут}}$	66,5	78,6	89,8
	$t_{\text{о.ут}}$	50,75	58,89	66,5
	$\theta_{\text{ут}}^p$	40,63	50,75	60,15
	$u_{\text{ут}}^p$	4,99	3,62	2,58

Примечания: В знаменателе приведены данные для  $\varphi_{\text{доп}}=0,5$

Оценим степень соответствия температуры теплоносителя  $\tau_1^x$  в подающем трубопроводе тепловых сетей при центральном качественном регулировании в соответствии с уравнением (1) и общепринятом диктующем типе нагревательных приборов – чугунных секционных радиаторах ( $m = 0,32$ ). Для утепленных зданий уравнение (1) трансформируется в следующий вид:

$$\tau_{1,\text{ут}}^x = t_{\text{в}} + \theta_{\text{ут}}^p \Psi^{\frac{m}{1+m}} + (u_{\text{ут}}^p + 0,5)(t_{\text{г.ут}} - t_{\text{о.ут}})\varphi, \quad (17)$$

где  $\Delta\tau_1^x$  - необходимая температура при качественном регулировании отпуска теплоты системой отопления утепленных зданий, °С.

Ясно, что определяющим параметром при этом является разность температур

$$\Delta\tau_1^x = \tau_{1,\text{кач}}^x - \tau_{1,\text{ут}}^x \quad (18)$$

Значение величины  $\Delta\tau_1^x$  приведены на рисунке 1. При расчетах значения  $t_{\text{г.ут}}$ ,  $\theta_{\text{ут}}^p$  и  $u_{\text{ут}}^p$  принимались в соответствии с таблицей 1. Из графиков (рисунок 1) видно, что при подключении систем отопления зданий с утепленными наружными ограждениями и скорректированными индивидуальными коэффициентами смешения исключают необходимость разрегулировки, к сетям, работающим в режиме центрального качественного регулирования температура, поступающая в отопительные приборы воды может быть как выше оптимальной (при  $m \leq 0,32$ ), так и ниже ее значения (при  $m > 0,32$ ). Отклонение достигает наибольших значений при наружных температурах, соответствующих  $\varphi \approx 0,35 \div 0,55$ , то есть при более высоких по сравнению с расчетной отопительной температурой, и, как отмечено в [6], уровень нарушений комфортных параметров наиболее понижен.

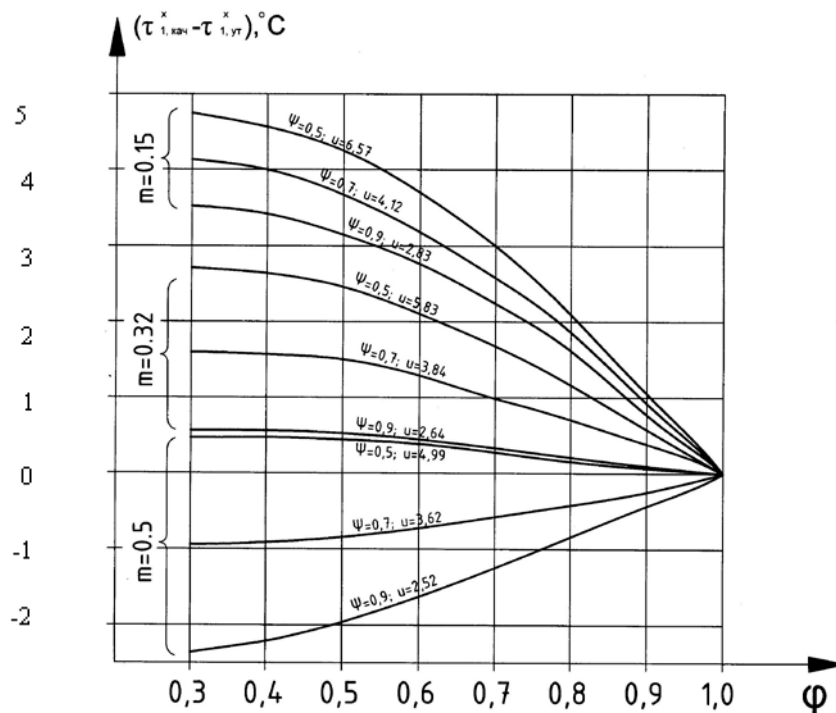


Рисунок 1

Укажем на один из способов улучшения работы систем отопления утепленных зданий, с различными типами нагревательных приборов в режиме центрального регулирования:

- для приборов с  $m \leq 0,32$  - увеличение коэффициента смешения по сравнению с приведенными в таблице 1;

- для приборов с  $m > 0,32$ , наоборот уменьшение этого коэффициента.

Разумеется, при этом расход теплоносителя в местных системах во избежание разрегулировки не следует принимать меньше величины, определяемой в соответствии с уравнением (5).

В качестве примера рассмотрим случай при  $\Psi = 0,5$  и наружной температуре, соответствующей  $\varphi_{\max} \approx 0,5$  (зона максимального отклонения температуры  $\tau_{1,2\max}$  от оптимальной величины). Примем, что изменение теплоемкости отопительной системы не должно отличаться от расчетной величины (в данном примере) более, чем на 10%, то есть коэффициент  $\beta_{\text{доп}}$  допустимого отклонения теплоемкости от требуемой величины будет:

- для  $m \leq 0,32$  -  $\beta_{\text{доп}} = 0,9$ ;

- для  $m > 0,32$  -  $\beta_{\text{доп}} = 1,1$

Тогда уравнение (10) примет вид

$$\beta Q_{0, \text{ут}} = \beta \Psi_{\max}^{\frac{m}{1+m}} c G_o^p (t_{r, \text{ут}} - t_{o, \text{ут}}), \quad (19)$$

а (11) запишется в виде

$$t_{o, \text{ут}} = t_{r, \text{ут}} - \beta_{\text{доп}} \Psi_{\max}^{\frac{1}{1+m}} (t_r^p - t_o^p), \quad (20)$$

При этом значения определяющих параметров вычисляются по скорректированному уравнению (14), где величина  $\Pi$  первого из слагаемых соответствует зависимости

$$\Pi = \left[ \frac{1}{t_{r, \text{ут}} - \beta_{\text{доп}} \Psi_{\max}^{\frac{1}{1+m}} (t_r^p - t_o^p)} \right]^m \quad (21)$$

Расчеты для частного случая:  $\Psi = 0,5$ ;  $\varphi = 0,5$ ;  $\beta = 0,9 \div 1,1$  приведены в таблице 1 (знаменатель).

### Выводы

1. При подключении функционирующих зданий, утепляемых в процессе эксплуатации, к центральному тепловым сетям, режим отпуска теплоты которых осуществляется в соответствии с доминирующим типом отопительных приборов и графиком центрального качественного регулирования, требуется, во избежание разрегулировки систем отопления, значительное изменение коэффициента

смещения и расчетного расхода теплоносителя в местной системе отопления в зависимости от типа установленных теплообменников (показатель  $m$ ) и степенью утепления ограждения (показатель  $\Psi$ ).

2. Во избежание перегрева помещений, в которых установлены приборы с показателем  $m$ , меньше, чем принято для режима центрального регулирования, а следовательно, для экономии топлива, следует увеличить коэффициент смещения, ориентируясь на максимально допустимое снижение тепломощности системы ( $\beta_{доп}$ ).

3. Для зданий, у которых установленные приборы имеют показатель  $m$  больше, чем отопительные приборы, диктующие опорный режим центрального регулирования, наоборот, для уменьшения недогрева коэффициент смещения следует уменьшить.

4. Уровень допустимого изменения мощности (коэффициент ( $\beta_{доп}$ )) отопительных систем утепленных зданий следует определять в индивидуальном порядке для каждого потребителя с учетом степени утепления  $\Psi$ , типа установленных отопительных приборов  $m$ , параметров опорного эксплуатационного режима и аккумулирующей способности зданий.

### *Литература*

1. Теплова ізоляція будівель, ДБН В.2.6 – 36:2006, Мінбуд України, Київ, 2006, 63 стор.
2. СНІП 23-101-2000 Проектування теплосистем будівель.
3. СНІП 23-02-2003 Тепловий захист будівель.
4. Белинкий Е.О. Эксплуатационный режим водяных систем центрального отопления, - М:Издательство Министерства коммунального хозяйства, РСФСР, 1956, 106 стор.
5. Полунін М.М. Гідротепловий та експлуатаційний режими систем водяного опалення: Навчальний посібник. – ДО.:СДО, 1994, Київ,64.
6. Полунін М.М., Совместная работа систем водяного отопления с различными нагревательными приборами от одного теплового центра. Известия Вузов, Строительство и Архитектура, №1, 1967, Новосибирск.