

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. Сущестующие 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 сущестующих 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.

Изложенное 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 пятнадцатки) 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 τ_1^x в подающем трубопроводе тепловых сетей поддерживается в соответствии [4;6] с уравнением

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

где: $t_{в}$ – расчетная температура воздуха внутри отапливаемых помещений, °С; $t_{г}^p$ и $t_{о}^p$ – расчетная температура теплоносителя в местной системе отопления соответственно в подающем и обратном трубопроводах, °С; φ – 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

$$U^p = (\tau_1^p - t_{г}^p) / (t_{г}^p - t_{о}^p); \quad (3)$$

τ_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 Ψ 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 Ψ).

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 \ Ψ	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 τ_1^x в подающем трубопроводе тепловых сетей при центральном качественном регулировании в соответствии с уравнением (1) и общепринятым 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 исключая регулировку, 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.

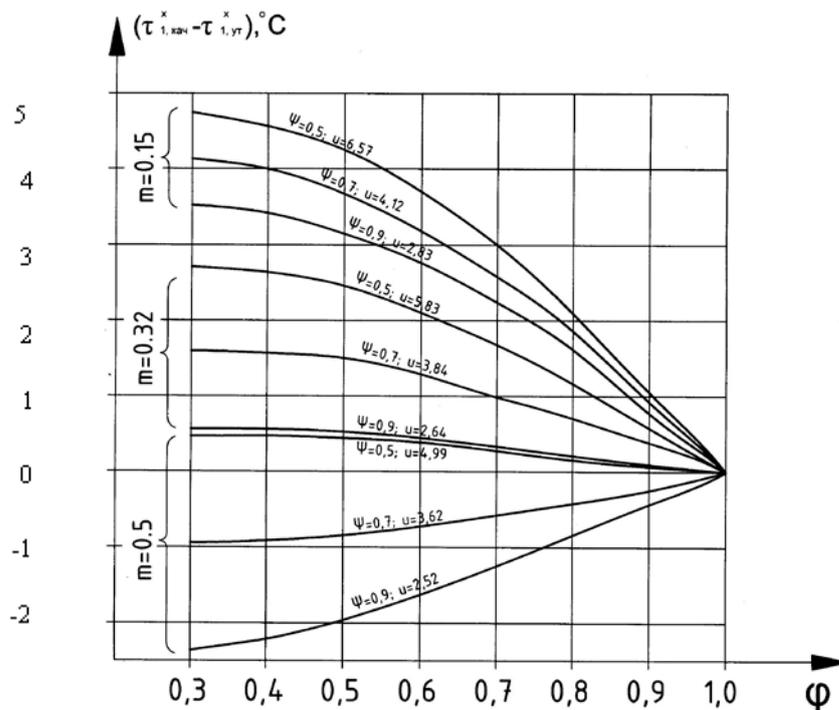


Рисунок 1

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 $\tau_{1,2max}$ 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 $\beta_{доп}$ допустимого отклонения теплоемкости от требуемой величины будет:

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

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

Тогда уравнение (10) примет вид

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

а (11) запишется в виде

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

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

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

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 Ψ).

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 Ψ , 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 теплозахисту 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.