

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОДНОТРУБНОЙ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Петраш В.Д., Басист Д.В. *(Одесская государственная академия строительства и архитектуры).*

В результате выполненного исследования выявлена возможность повышения теплогидравлической устойчивости запропонованной вертикальной однотрубной системы водяного отопления с размещением джера теплоты на визначеній висоті будівлі.

Известные системы водяного отопления [1] традиционно имеют нижнее размещение источника теплоты по высоте зданий, как при центральном, так и местном теплоснабжении. При этом системы разрабатываются с верхней либо нижней разводкой подающих магистралей. Соответствующие решения принимаются в основном в зависимости от наличия либо отсутствия технического этажа (чердака) с учетом технико-экономических показателей и других требований.

В конце прошлого века специалистами Германии была предложена и практически реализована система с устройством источника теплоты на уровне кровли здания. Техническое решение системы с таким устройством теплогенератора при децентрализованном теплоснабжении, кроме экономии полезной площади в здании и большей компактности всей системы, имеет ряд существенных недостатков. К ним относятся, прежде всего, противонаправленное действие гравитационного давления насосному, что вносит существенный отрицательный вклад в вертикальную разрегулировку систем, а следовательно, в увеличение энергозатрат и стоимость средств автоматики, связанных с эксплуатационным регулированием переменной мощности систем в отопительный период.

Расчетный перепад располагаемого давления в системе определяется переменным значением насосной и естественной составляющих для достижения необходимой интенсивности циркуляции теплоносителя. Недостатки систем, как с верхней, так и с нижней разводкой, достаточно полно отражены в [1,2].

В работах [1, 2, 3] отражено, что причиной как начальной, так и эксплуатационной разрегулировки систем отопления является влияние естественных давлений на распределение воды, в связи с чем для ее снижения необходимо уменьшать долю разности естественного давления в общем располагаемом циркуляционном перепаде давления в отопительной системе. Этому весьма важному фактору, являющемуся первопричиной тепловой разрегулировки и предопределяющему существенное удорожание систем автоматики, посвящено ряд работ [4,5,6]

Кроме того на нынешнем этапе развития энергоснабжения в государстве очевидно, что использование электроэнергии для отопления (при существенно возросшей стоимости и дефиците газового топлива) в Украине имеет большие перспективы ввиду ее относительно низкой себестоимости в секторе государственного производства. Ее выработка достигает более 50% за счет ядерного топлива, имеется стимулирующий тариф экономного потребления электроэнергии в суточном интервале.

Очевидно, что известные технические решения направлены на решение последствий, поэтому они непосредственно связаны с увеличением энергозатрат в процессе вынужденного снижения избыточных давлений, не устраняя по сути причин их возникновения.

Из выше изложенного анализа следует целесообразность повышения теплогидравлической, энергетической и технико-экономической эффективности систем водяного отопления на основе дальнейшего совершенствования устройства,

конструктивной и функциональной взаимосвязи структурных элементов системы и источника теплоты, обладающего полным циклом возможностей эксплуатационного регулирования процессов выработки и подачи теплоты в автоматическом режиме.

Суть предложенного технического решения заключается в создании такой функциональной взаимосвязи элементов отопительной системы и автоматизированного теплогенератора с полным циклом возможностей эксплуатационного регулирования, при которой предельно снижается вертикальная теплогидравлическая разрегулировка до минимально возможных значений. При размещении источника теплоты на вполне определенной высоте здания циркуляционный контур системы можно рассматривать таким, рис.1, который состоит из верхней и нижней зон относительно уровня размещения условного центра нагрева воды в теплогенераторе.

Известно [1], что естественное циркуляционное давление вертикальной однотрубной системы водяного отопления с верхней разводкой, возникающее вследствие охлаждения воды в приборах, определяется разностью гидростатических давлений в рассматриваемых вертикальных участках стояка.

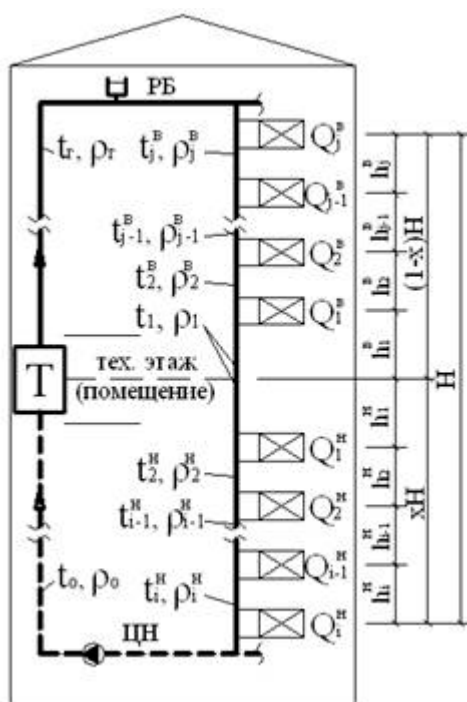


Рис.1. Схема системы отопления с верхней разводкой подающих магистралей с традиционными однотрубными стояками

Условные обозначения:

Т – источник теплоты (теплогенератор, теплообменник); ЦН – циркуляционный насос; РБ – расширительный бак.

Гравитационное давление, возникающее в верхней зоне циркуляционного контура, представляется в виде

$$\Delta P_g^* = g[h_1^* (\rho_1 - \rho_T) + h_2^* (\rho_2 - \rho_T) + \dots + h_{j-1}^* (\rho_{j-1} - \rho_T) + h_j^* (\rho_j - \rho_T)] \quad (1)$$

где $h_1, h_2 \dots h_{j-1}, h_j$ – вертикальные расстояния между условными центрами изменения температуры воды в смежных приборах, м. Индексы «н» и «в» отражают принадлежность

участка к нижней либо верхней зоне стояка; $\rho_1, \rho_2, \rho_{j-1}, \rho_j$ – плотность теплоносителя на указанных участках стояка при соответствующей температуре, кг/м³.

Аналогично для нижней зоны циркуляционного контура системы гравитационное давление можно представить следующим образом

$$\Delta P_g^H = q[h_1^H(\rho_0 - \rho_1) + h_2^H(\rho_0 - \rho_2^H) + \dots + h_{j-1}^H(\rho_0 - \rho_{j-1}^H) + h_j^H(\rho_0 - \rho_j^H)] \quad (2)$$

Обозначив среднее изменение плотности воды в расчетном диапазоне изменения температур теплоносителя на 1°C в виде [3] соотношения $(\rho_0 - \rho_T) = \beta(t_T - t_0)$, на основе которого зависимости (1) и (2) можно представить в соответствующем виде

$$\Delta P_g^H = q\beta[h_1^H(t_T - t_1) + h_2^H(t_T - t_2) + \dots + h_{j-1}^H(t_T - t_{j-1}^H) + h_j^H(t_T - t_j)] \quad (3)$$

$$\Delta P_g^H = q\beta[h_1^H(t_1 - t_0) + h_2^H(t_2^H - t_0) + \dots + h_{j-1}^H(t_{j-1}^H - t_0) + h_j^H(t_j^H - t_0)] \quad (4)$$

Расход воды, циркулирующий по стояку, определяется соотношением

$$G = \frac{\sum_1^i Q^H + \sum_1^j Q^B}{c(t_T - t_0)} = \frac{\sum Q}{c(t_T - t_0)} \quad (5)$$

где $\sum_1^i Q^H, \sum_1^j Q^B, \sum Q$ – тепловые нагрузки приборов, соответственно, нижней, верхней зон и всего стояка.

Представим фигурирующие в (3) и (4) температурные перепады теплоносителя в виде следующих зависимостей:

- для верхней зоны

$$t_T - t_1 = \frac{\sum_1^j Q^B}{cG}; \quad t_T - t_2^H = \frac{Q_j^B + Q_{j-1}^B + \dots + Q_2^B}{cG}; \quad t_T - t_{j-1}^H = \frac{Q_j^B + Q_{j-1}^B}{cG}; \quad t_T - t_j^H = \frac{Q_j^B}{cG}; \quad (6)$$

- для нижней зоны

$$t_1 - t_0 = \frac{Q_1^H}{cG}; \quad t_2^H - t_0 = \frac{Q_1^H + Q_{j-1}^H + \dots + Q_2^H}{cG}; \quad t_{j-1}^H - t_0 = \frac{Q_1^H + Q_{j-1}^H}{cG}; \quad t_j^H - t_0 = \frac{\sum_1^j Q^H}{cG}; \quad (7)$$

Обозначим также тепловые нагрузки нагревательных приборов в относительных величинах для верхней и нижней зон соответственно в виде

$$\bar{Q}_{1,2,\dots,j-1,j}^B = \frac{\bar{Q}_{1,2,\dots,j-1,j}^B}{Q} \quad \text{и} \quad \bar{Q}_{1,2,\dots,i+1,i}^H = \frac{\bar{Q}_{1,2,\dots,i+1,i}^H}{Q}$$

Для верхней зоны, принимая $h^B = \text{const}$, представим превышение центра охлаждения воды в каждом приборе над центром ее нагрева в теплогенераторе в виде разности общей высоты $(1-x)H$ за вычетом вертикального расстояния между центрами охлаждения ее в верхнем и рассматриваемом приборах.

С учетом изложенного после замены температурных перепадов в (3) их значениями согласно (6) получим соответствующую зависимость для определения гравитационного давления в верхней зоне

$$\Delta P_g^B = \beta q(t_T - t_0) \{ \bar{Q}_1^B [(1-x)H - \sum_2^j h^B] + \bar{Q}_2^B [(1-x)H - \sum_3^j h^B] + \dots + \bar{Q}_{j-1}^B [(1-x)H - h^B] + \bar{Q}_j^B [(1-x)H] \} \quad (8)$$

Для нижней зоны, принимая $h^H = \text{const}$, аналогично представим превышение центра нагрева воды в теплогенераторе над центром ее охлаждения в соответствующем приборе в виде разности общей высоты нижней зоны xH за вычетом вертикального расстояния между центрами охлаждения воды в рассматриваемом и нижнем приборах.

На основе (4) и (7) зависимость противонаправленного гравитационного давления в нижней зоне представляется в следующем виде

$$\Delta P_e^H = \beta q(t_r - t_0) \{ \bar{Q}_1^H [xH - \sum_2^i h^H] + \bar{Q}_2^B [xH - \sum_3^i h^H] + \dots + \bar{Q}_{i-1}^H [xH - h_{i-1}^H] + \bar{Q}_i^H [xH] \} \quad (9)$$

Отметим, что тепловые нагрузки всех нагревательных приборов нижней и верхней зон относятся к общей тепловой нагрузке всего стояка, исходя из чего $\bar{Q}^B + \bar{Q}^H = 1$. При этом

температурный перепад теплоносителя в верхней зоне зависит от $\frac{\sum_1^j Q^B}{G}$ и общего расхода теплоносителя G , исходя из чего температура горячей воды в стояке на уровне

$$t_1 = t_r - \frac{\sum_1^j Q^H}{cG}$$

размещения теплогенератора определяется по зависимости

Очевидно, что в рассматриваемом контуре системы отопления с идеальной тепловой изоляцией трубопроводов исключение составляющей естественной циркуляции определяется условием равенства противонаправленных гравитационных давлений, возникающих в верхней и нижней зонах, т.е.

$$\Delta P_e^B = \Delta P_e^H, \quad (10)$$

на основе которого из уравнений (8) и (9) определяется искомое значение x_a относительной высоты размещения источника теплоты по вертикали анализируемой системы, которое представим в виде

$$x_a = \frac{H(\bar{Q}_1^B + \bar{Q}_2^B + \dots + \bar{Q}_{j-1}^B + \bar{Q}_j^B) - A + B}{H[(\bar{Q}_1^H + \bar{Q}_2^H + \dots + \bar{Q}_{i-1}^H + \bar{Q}_i^H) + (\bar{Q}_1^B + \bar{Q}_2^B + \dots + \bar{Q}_{j-1}^B + \bar{Q}_j^B)]}, \quad (11)$$

$$\text{где: } A = [(\sum_2^j h^B) \bar{Q}_1^B + (\sum_3^j h^B) \bar{Q}_2^B + \dots + (\sum_{j-1}^j h^B) \bar{Q}_{j-1}^B];$$

$$B = [(\sum_2^i h^H) \bar{Q}_1^H + (\sum_3^i h^H) \bar{Q}_2^H + \dots + (\sum_{i-1}^i h^H) \bar{Q}_{i-1}^H].$$

Таким образом, относительная высота размещения теплогенератора по вертикали системы отопления многоэтажного здания, исключая действие гравитационного давления в циркуляционном контуре однетрубного стояка, определяется соотношением тепловых нагрузок верхней зоны и всего стояка, которое корректируется интегральной разностью позонных произведений тепловых нагрузок нагревательных приборов и соответствующих высот относительно аналогичных значений для всего стояка.

Для условий $h^B = \text{const}$ и $h^H = \text{const}$ уравнение (11) в относительных величинах приобретает окончательный вид

$$x = \frac{H \sum Q + [h_j (3Q_1 + 2Q_2 + 1Q_{j-1})] - [h_i^0 (3Q_1^0 + 2Q_2^0 + 1Q_{i-1}^0)]}{H(\sum Q + \sum Q^0)} + \frac{\sum \bar{Q}^B}{\sum \bar{Q}^0} + \frac{[(i-1)\bar{Q}_1^H + (i-2)\bar{Q}_2^H + \dots + 1 \times \bar{Q}_{i-1}^H] - \frac{h^B}{h^H} [(j-1)\bar{Q}_1^B + (j-2)\bar{Q}_2^B + \dots + 1 \times \bar{Q}_{j-1}^B]}{\frac{H}{h^H} \sum \bar{Q}^0} \quad (12)$$

При равенстве тепловых нагрузок нагревательных приборов в нижней и верхней зонах стояка, ($\bar{Q}_1^H = \bar{Q}_2^H = \dots = \bar{Q}_i^H$; $\bar{Q}_1^B = \bar{Q}_2^B = \dots = \bar{Q}_j^B$), анализируемой структуры зависимость (9) приобретает упрощенный вид

$$x_a = \frac{\Sigma \bar{Q}^B}{\Sigma \bar{Q}_0} + \frac{\bar{Q}^H [(i-1) + (i-2) + \dots + 1] - \frac{h^B}{h^H} \bar{Q}^B [(j-1) + (j-2) + \dots + 1]}{\frac{H}{h^H} \Sigma \bar{Q}_0} \quad (13)$$

Интерпретация уравнения (13) иллюстрируется графически, рис.2, где представлено изменение x_a , в зависимости от соотношения высоты этажа в верхней и нижней зонах

системы отопления в зданиях высотой 2 и 18 этажей при $\frac{\Sigma \bar{Q}^B}{\Sigma \bar{Q}_0} = 0,5$.

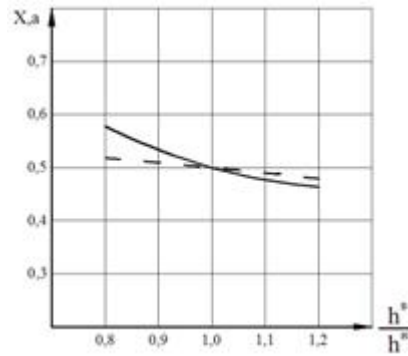


Рис.2. Изменение высоты размещения теплоисточника по вертикали системы отопления с традиционными стояками. Условные обозначения:

- $i+j=2$ этажа;
- $i+j=18$ этажей.

Из графиков следует, что для анализируемых условий при одинаковой высоте этажа в верхней, а также в нижней зонах, размещение теплоисточника находится на среднем уровне по высоте системы отопления с (4÷7) процентным его корректированием,

учитывающим соотношение $\frac{h^B}{h^H}$ и высоту системы.

На рис.3 представлен диапазон изменения рациональных значений x_a для зданий

высотой 2 и 18 этажей при различном соотношении $\frac{\Sigma \bar{Q}^B}{\Sigma \bar{Q}_0}$. Каждый диапазон соответствующего изменения x_a ограничен верхней и нижней предельными линиями при значениях $\frac{h^B}{h^H} = 0,8$ и $1,2$. Очевидно, что для систем отопления 2-х этажных зданий

возрастание x_a при увеличении $\frac{\Sigma \bar{Q}^B}{\Sigma \bar{Q}_0}$ практически нивелируется. Оценка изменения значений x_a для характерных параметров систем отопления свидетельствует, что для зданий промежуточной этажности определяющее влияние на ширину диапазона изменения x_a оказывает соотношение тепловых нагрузок.

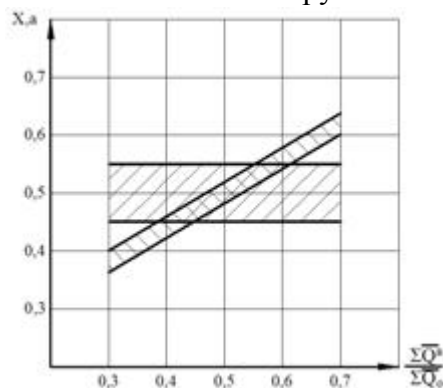


Рис.3. Зависимость изменения x_a от соотношения $\frac{\Sigma Q^B}{\Sigma Q_0}$ в системах отопления зданий высотой 2 и 18 этажей. Условные обозначения:

- область значений x_a в системе отопления 2-х этажного здания;
- область значений x_a в системе отопления 18-ти этажного здания.

Со снижением высоты системы происходит трансформация диапазона x_a с переходом его до предельных значений, имеющих место в системе отопления 2-х этажного здания.

Вывод

Изложенный подход к совершенствованию систем водяного отопления на основе рационального взаиморасположения и взаимосвязи структурных элементов позволяет повысить общую эффективность работы систем за счет исключения негативного влияния гравитационного давления, при котором максимально снижается вертикальная теплогидравлическая разрегулировка. В результате повышается равномерность и эффективность процессов теплопередачи всех нагревательных приборов, как в расчетном, так и в эксплуатационном режимах регулирования работы систем. Технико-экономическая эффективность применения систем водяного отопления с промежуточным размещением теплогенератора суммарно учитывает достигаемый положительный эффект на основе выше перечисленных факторов снижения капитальных и эксплуатационных затрат в общей стоимости элементов систем отопления и автоматики.

Summary

The result of this study raise the possibility of the device thermal hydraulic stability of the vertical Single pipe hot water heating of the proposed technical solutions on placing a source of heat for a very definite mark on the height of the building

Литература

1. Сканава А.Н, Махов Л.М. Отопление. – М.: Изд-во АСВ, 2002, 576с.
2. Константинова В. Е. Надежность систем центрального водяного отопления в зданиях повышенной этажности. - М., Госстройиздат, 1976, 183с.
3. Белинский Е. А. Рациональные системы водяного отопления. Л., Госстройиздат, 1963. 208с.
4. Туркин В.П. Водяные системы отопления с автоматическим управлением для жилых и общественных зданий. – М.; Стройиздат, 1987 с.
5. Полунін М.М. Гідготепловий та експлуатаційний режими систем водяного опалення. К.; Навчальний посібник, 1994, 64с.
6. Пырков В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. К.; Такі справи, 2005, 304с.