

2.Гирман Л.В. Покращення теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій із замкнутим повітряним прошарком / Л.В. Гирман // Комунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.88. – К.: Техніка, 2009. – С.166-174.

3.Строй А.Ф. Порівняння результатів теплотехнічного розрахунку замкнутих повітряних прошарків при використанні різних математичних моделей / А.Ф. Строй, Л.В. Гирман // Комунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.95. – К.: Техніка, 2010. – С.90 -98.

4.ДСТУ Б В.2.6-17-2000 (ГОСТ 26602.1-99). Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі.

5.ГОСТ 1790-77. Проволока из сплавов хромель, алюмель, копель и константан для термоэлектродов термоэлектрических преобразователей. Технические условия.

Отримано 19.10.2010

УДК 658.24

А.А.АЛЕКСАХИН, канд. техн. наук, А.В.БОБЛОВСКИЙ
Харьковская национальная академия городского хозяйства

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ГРЕЮЩЕГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ СМЕШАННЫХ СХЕМ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Выполнена оценка величины относительной погрешности при использовании аналитической зависимости для вычисления расхода сетевой воды через теплообменники горячего водоснабжения. Определена достаточная точность проведения итерационного счета для обеспечения необходимой точности определения расхода греющего теплоносителя через теплообменные аппараты горячего водоснабжения.

Виконано оцінку величини відносної похибки при використанні аналітичної залежності для обчислення витрат мережної води через теплообмінники гарячого водопостачання. Визначено достатню точність проведення ітераційного розрахунку для забезпечення необхідної точності визначення витрат гріючого теплоносія через теплообмінні апарати гарячого водопостачання.

The estimation of the relative error when using the analytical relationship for calculating the power flow of water through the heat exchanger hot water. Outlines the required accuracy of the iterative account to ensure the necessary accuracy of the flow of heating fluid through the heat exchangers for hot water.

Ключевые слова: система горячего водоснабжения, теплообменный аппарат, расход греющего теплоносителя, относительная погрешность счета.

При закрытых системах теплоснабжения приготовление горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд жилых микрорайонов осуществляется с помощью установленных на теплораспределительных станциях теплообменных аппаратов. Присоединение теплообменников к тепловым сетям выполняют чаще по двухступенчатым схемам, что позволяет использовать теплоту, содержащуюся в теплоносителе после системы отопления зданий микрорайона [1, 2]. В зависимости от

соотношения максимальных тепловых нагрузок горячего водоснабжения и отопления двухступенчатые схемы компоновки водонагревательных установок бывают последовательные и смешанные [1-3]. Режимные характеристики теплообменников для названных схем при неизменной расчетной отопительной нагрузке зданий детально исследованы в работах [2-5]. Расчетные зависимости для определения расхода греющего теплоносителя через теплообменники горячего водоснабжения при изменении расчетной отопительной нагрузки, например, при ее уменьшении за счет нанесения дополнительного слоя теплоизоляции на поверхность ограждающих конструкций функционирующих зданий, приведены в [6, 7]. Особенность использования предложенных формул заключается в необходимости при вычислении расхода задавать его исходное значение с последующим переуточнением до достижения необходимой точности расчета. Оценка точности приведенных в [6] формул для двухступенчатой последовательной схемы компоновки водонагревательной установки (ВНУ) выполнена в [8]. При анализе использован предложенный в [9] подход оценки точности экспериментальных данных.

Целью настоящего исследования является анализ точности применения приведенных в [7] расчетных зависимостей для определения расхода греющего теплоносителя через теплообменники горячего водоснабжения при двухступенчатой смешанной схеме присоединения к тепловым сетям. Предложенные в [7] решения получены относительно величины расхода теплоносителя через вторую ступень водонагревательной установки $\bar{W}_2 = W_2 / W_{op}$ (W_{op} – тепловой эквивалент расчетного отопительного расхода до «утепления»). Решения в зависимости от соотношения тепловых эквивалентов расходов теплообменивающихся сред на каждой из ступеней ВНУ приведены в таблице, где в формулах (1) и (2) приняты следующие обозначения: $\gamma = W_h / W_{op} = \rho(\Delta\tau_c^p / \Delta\tau_2)$ – отношение расхода нагреваемой воды к расчетному для отопления расходу теплоносителя; $\rho = Q_h / Q_{op}$ – отношение тепловой нагрузки горячего водоснабжения к расчетной для отопления нагрузке до «утепления» здания; $\Delta\tau_c^p = \tau_1^p - \tau_2^p$ – разница температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети при расчетной для отопления температуре наружного воздуха в данной местности; $\beta = W_o / W_{op}$ – соотношение расчетных отопительных расходов после и до «утепления»; τ_4 – температу-

ра теплоносителя на входе во вторую ступень ВНУ; ψ_1, ψ_2 – величины, учитывающие изменение температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах микрорайонной теплотети, соответственно; $t_{окр}$ – температура окружающей среды при соответствующем способе прокладки теплопроводов; $\Delta t_z = t_z - t_x$ – разность температур горячей и холодной воды.

Расчетные формулы для определения расхода теплоносителя через вторую ступень водонагревательной установки

Условия применения	Формула	№ формулы
$W_{1.M} = W_h$ $W_{2.M} = W_h$	$\overline{W}_2 = \frac{\beta [\tau_4 (\varepsilon_2 + z_1 \cdot \psi_1) - t_x (\varepsilon_2 + z_1) - \Delta t_z + z_2] - z_3 - z_4}{\Delta t_z - (\varepsilon_2 + z_1)(\tau_4 - t_x)}$ $z_1 = \varepsilon_1 (1 - \varepsilon_2)$ $z_2 = z_1 [t_{окр} (1 - \psi_1) + \psi_2]$ $z_3 = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \gamma (\tau_4 - t_x)$ $z_4 = z_5 \cdot z_1$ $z_5 = \mu \cdot \overline{Q}_o \cdot \Delta \tau_c^p$	1
$W_{1.M} = W_h$ $W_{2.M} = W_2$	$a_3 \cdot \overline{W}_2^2 + b_3 \cdot \overline{W}_2 + c_3 = 0$ $a_3 = \varepsilon_2 (1 - \varepsilon_1) (\tau_4 - t_z)$ $b_3 = (\varepsilon_2 \beta + \varepsilon_1 \gamma) (\tau_4 - t_x) \cdot z_3 - \gamma \Delta t_z -$ $- \varepsilon_1 \varepsilon_2 \beta \left[\tau_4 \psi_1'' + t_{окр}'' (1 - \psi_1'') + \psi_2 - \frac{z_5}{\beta} - t_x \right]$ $c_3 = \gamma \beta \varepsilon_1 (\tau_4 \psi_1 + z_6) - \gamma \Delta t_z \beta$ $z_6 = t_{окр} (1 - \psi_1) + \psi_2 - t_x - \frac{z_5}{\beta}$	2

Удельная безразмерная тепловая нагрузка теплообменников первой и второй ступеней ε_1 и ε_2 для водоводяных противоточных теплообменников определяется по формуле [1, 2]

$$\varepsilon = \left(0,35 \frac{W_M}{W_\sigma} + 0,65 + \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{W_M}{W_\sigma}} \right)^{-1} \leq 1, \quad (3)$$

где W_m и W_b – меньшее и большее значение тепловых эквивалентов расходов; $\Phi = KF\sqrt{W_m \cdot W_b}$ – параметр теплообменника соответствующей ступени.

Принятый к рассмотрению диапазон соотношения тепловых нагрузок включает и значения, для которых рекомендовано применение двухступенчатой схемы компоновки ВНУ ($0,6 \leq \rho_{\max} \leq 1,0$), и значения, возможные при незначительном водоразборе ($0,2 \leq \rho < 0,6$).

В работе проанализированы два характерных значения температуры наружного воздуха: в точке излома графика температур и при расчетном для отопления значении. В первом случае принята величина относительной тепловой нагрузки $\bar{Q}'_0 = 0,35$ при значениях температур в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети $\tau'_1 = 77$ °С, $\tau'_2 = 42$ °С. Во втором случае ($\bar{Q}_0 = 1$) температуры теплоносителя в тепловой сети приняты $\tau'_1 = 150$ °С, $\tau'_2 = 70$ °С.

По данным исследований режимов работы микрорайонных водонагревательных установок [4] при температурах наружного воздуха, близких к расчетному для отопления значению ($\bar{Q}_0 = 1$), зафиксированный расход теплоносителя через теплообменники второй ступени при смешанной схеме присоединения находится в интервале $0,1 \leq \bar{W}_2 \leq 0,2$. При анализе ориентировочно принято $\bar{W} = 0,15$. Тогда соотношение тепловых эквивалентов расходов для аппаратов второй ступени составляет

$$\frac{W_{2,m}}{W_{2,b}} = \frac{W_2}{W_h} = \frac{\bar{W}_2}{\gamma} \approx \frac{0,15}{\gamma}.$$

При подстановке этого значения в формулу (3) получаем, что для рассмотренного диапазона значений соотношения тепловых нагрузок безразмерная тепловая нагрузка на второй ступени ВНУ равна $\varepsilon_2 = 1$.

Параметр аппаратов второй ступени приближенно равен $\Phi_2 \approx 2,4$.

Расход греющего теплоносителя через первую ступень водонагревательной установки для двухступенчатой смешанной схемы присоединения равен

$$W_1 = W_2 + W_{op} \quad \text{или} \quad \bar{W}_1 = \bar{W}_2 + 1. \quad (4)$$

Изменение соотношения расходов сред через теплообменники и удельной безразмерной тепловой нагрузки первой ступени приведено

на рис.1, из которого видно, что при температуре наружного воздуха в точке излома графика температур во всем диапазоне значений ρ более вероятны режимы, при которых $W_{1,m} = W_h$ (линия 2'). При расчетной для отопления температуре наружного воздуха ($\bar{Q}_0 = 1$) возможны оба варианта соотношения расходов на первой ступени ВНУ: $W_{1,m} = W_h$ и $W_{1,m} = W_1$, о чем свидетельствует излом линии 1' в области значений $\rho \approx 0,8$. То есть в этом случае для определения расхода греющего теплоносителя возможно использование и формулы (1) и формулы (2).

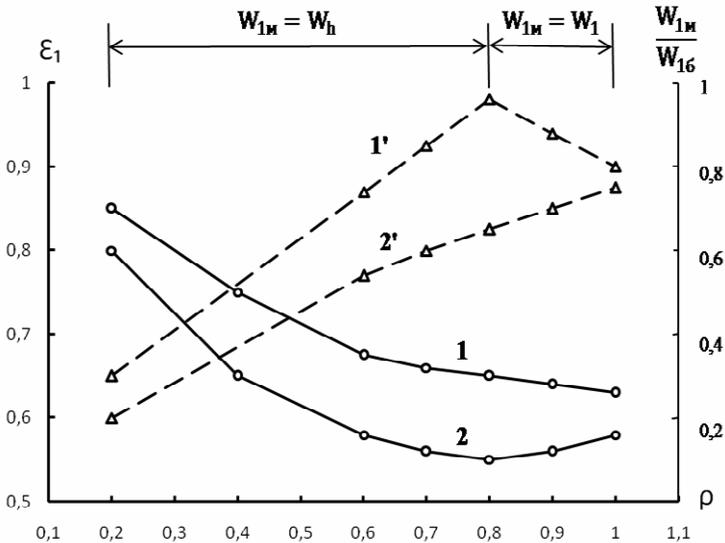


Рис.1 – График изменения соотношения расходов и безразмерной тепловой производительности теплообменников первой ступени ВНУ:

1,2 – значения ε_1 ; 1',2' – соотношение расходов ($W_{1,m}/W_{16}$);

1,1' – при $\bar{Q}_0 = 1$; 2,2' – при $\bar{Q}_0 = 0,35$.

На второй ступени ВНУ режимы, при которых $W_{2,m} = W_2$, более вероятны во всем диапазоне отопительных нагрузок. Зафиксированные при расчетах значения величины удельной тепловой производительности теплообменников второй ступени составили $\varepsilon_2 = 1$ при $\bar{Q}_0 = 1$ и $\varepsilon_2 \approx 0,81$ при температуре наружного воздуха в точке излома графика температур.

В соответствии с изложенной в [9] методикой оценки точности определения величин получена расчетная зависимость для нахождения относительной погрешности вычисления расхода по формуле (2). Расчетная зависимость имеет вид:

$$\left| \frac{\Delta(\bar{W}_2)}{\bar{W}_2} \right| = D \left\{ \frac{\Delta(\varepsilon_2)}{\varepsilon_2} [a_3 \bar{W}_2^2 + \bar{W}_2 \varepsilon_2 (\tau_4 - t_x + \varepsilon_1 \gamma \Delta t_2 + \varepsilon_1 D_1)] + \frac{\Delta(\varepsilon_1)}{\varepsilon_1} \left[\frac{\varepsilon_1 a_3 \bar{W}_2^2}{1 - \varepsilon_1} + \bar{W}_2 \varepsilon_1 (\gamma \tau_1 - t_x) + \varepsilon_2 (\gamma \tau_1 - t_2) + \varepsilon_2 D_1 + \gamma \varepsilon_1 (D_1 - 2t_x) \right] + \frac{\Delta(\gamma)}{\gamma} [\varepsilon_1 (\tau_1 - t_x) + \varepsilon_1 \varepsilon_2 (\tau_1 - t_2) + 2(t_2 - t_x) + \varepsilon_1 (D_1 - 2t_x)] + 2\Delta(t) \left[\frac{a_3 \bar{W}_2^2}{\tau_1 - t_x} + \varepsilon_2 (1 + \varepsilon_1) + \gamma (2 + 2\varepsilon_1 + \varepsilon_1 \varepsilon_2) \right] \right\}, \quad (5)$$

$$D = (2a_3 \bar{W}_2 + b_3 \bar{W}_2)^{-1}, \quad D_1 = \tau_4 - \bar{Q}_0 \cdot \Delta \tau_c^p + t_x,$$

где $\Delta(\dots)$ – абсолютная погрешность нахождения соответствующей величины.

Формулы для оценки точности величины удельной тепловой производительности имеют вид:

– для первой степени

$$\frac{\Delta(\varepsilon_1)}{\varepsilon_1} = \frac{1}{\varepsilon_1} \left[\frac{\Delta(\bar{W}_2) \cdot \bar{W}_2 \cdot 0,35\gamma}{(1 + \bar{W}_2)^2} + \frac{1}{\Phi_1} \sqrt{\frac{\gamma}{1 + \bar{W}_2}} \cdot \frac{\Delta(\bar{W}_2) \cdot \bar{W}_2}{1 + \bar{W}_2} \right]; \quad (6)$$

– для второй степени

$$\frac{\Delta(\varepsilon_2)}{\varepsilon_2} = \frac{1,5 \frac{\Delta(\bar{W}_2)}{\bar{W}_2}}{\Phi_2} \sqrt{\frac{\bar{W}_2}{\gamma}}. \quad (7)$$

При реализации итерационного процесса определения расхода греющего теплоносителя погрешность $\Delta(\bar{W}_2)/\bar{W}_2$ в формулах (6) и (7) зависит от количества приближений, т.е. определяется совершенством итерационного процесса. При дальнейшем анализе принято, что все величины, кроме погрешности итерационного счета $\Delta(\bar{W}_2)/\bar{W}_2 = \Delta W$ являются абсолютно точными, т.е. $\Delta(\gamma) = \Delta(t) = 0$, формула (5) значительно упрощается и позволяет выполнить оценку точности проведения итерационного процесса.

На рис.2 приведены результаты расчетов относительной погрешности расхода теплоносителя, которые свидетельствуют, что зависимость ошибки расчетов по формуле (2) от точности итерационного счета имеет линейный характер и возрастает с увеличением значения соотношения тепловых нагрузок горячего водоснабжения и отопления. При отопительных нагрузках, близких к значению в точке излома графика температур, для выполнения расчетов расхода теплоносителя по формуле (2) с погрешностью не более 5% необходимо обеспечить точность в итерационном цикле не ниже 1%. При расчетной для отопления тепловой нагрузке указанная погрешность нахождения расхода может быть достигнута при точности итерационного счета на уровне 2%.

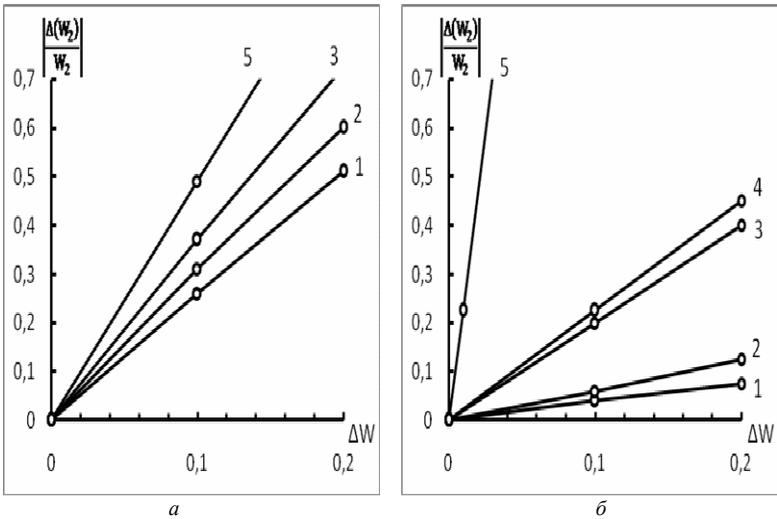


Рис.2 – Зависимость относительной погрешности нахождения расхода теплоносителя через ВНУ от точности итерационного процесса:

$$a - \text{при } \bar{Q}_0 = 0,35; \quad b - \text{при } \bar{Q}_0 = 1;$$

$$1 - \rho = 0,2; \quad 2 - \rho = 0,4; \quad 3 - \rho = 0,6; \quad 4 - \rho = 0,8; \quad 5 - \rho = 1,0.$$

Необходимо отметить, что для режимов при $\bar{Q}_0 = 1$ из-за изменения соотношения тепловых эквивалентов расходов в теплообменниках первой ступени возможен переход к применению формулы (1). При этом в проведенных расчетах отмечено увеличение, примерно на порядок, относительной погрешности при значениях $\rho > 0,8$. Это потребует для обеспечения указанной ранее погрешности вычислений повы-

шения точности итерационного процесса до уровня не ниже 0,2%.

1.Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения / Н.Н.Чистяков, М.М.Грудзинский, В.И.Ливчак и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 314 с.

2.Теплоснабжение / А.А.Ионин, Б.М.Хлыбов, В.Н.Братенков и др. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

3.Зингер Н.М., Тарадай А.М., Бармина Л.С. Пластинчатые теплообменники в системах теплоснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 256 с.

4.Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 320 с.

5.Теплоснабжение / В.Е.Козин, Т.А.Левина, А.П.Марков и др. – М.: Высш. шк., 1980. – 408 с.

6.Алексахин А.А. Анализ показателей работы двухступенчатой последовательной схемы водонагревательной установки горячего водоснабжения при уменьшении отопительной нагрузки зданий // Вестник НТУ "Харьковский политехнический институт". Тематический выпуск "Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование". Вып.28. – Харьков: ИЦ НТУ "ХПИ", 2005. – С.17-20.

7.Алексахін О.О. Визначення показників роботи водопідігрівної установки гарячого водопостачання в умовах зміни розрахункового опалювального навантаження // Теплоенергетичні установки та екологія на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. праць. Вип.70. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – С.123-131.

8.Алексахин А.А. Оценка точности расчетного определения расхода сетевой воды при двухступенчатой последовательной схеме водонагревательной установки // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.72. – К.: Техніка, 2006. – С.169-175.

9.Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. – М.: Энергия, 1979. – 320 с.

Получено 07.10.2010

УДК 697.95 : 628.8

А.Ф.СТРОЙ, д-р техн. наук, О.В.МАКАРЕНКО

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

ЕЖИ ЗБ. ПИОТРОВСКИ, д-р техн. наук

Технологічний університет «Свентокшиська політехніка», м. Кельце (Польща)

РОЗРАХУНОК СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ СПОРТИВНИХ І КІНОКОНЦЕРТНИХ ЗАЛІВ

Аналізуються існуючі підходи до визначення необхідного повітрообміну в спортивних та кіноконцертних залах. Розроблено рекомендації щодо скорочення повітрообмінів і зменшення витрат теплової та електричної енергії при експлуатаційних режимах роботи систем вентиляції.

Анализируются существующие подходы к определению необходимого воздухообмена в спортивных и киноконцертных залах. Разработаны рекомендации относительно сокращения воздухообменов и уменьшения расходов тепловой и электрической энергии при эксплуатационных режимах работы систем вентиляции.

In the article the modern method of determination of needed ventilation volume of apartment in sporting and movie-theatre halls is analyses. The recommendations to reduction of ventilations volume and heat and electric energy losses at the operating modes of ventilation systems are developed.