

УДК 658.264

Алексахин А.А., Ена С.В., Гордиенко Е.П., Ландар А.А., Бурда О.С.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕХОДА К ДВУХТРУБНОЙ СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Экономическая эффективность перехода к двухтрубным микрорайонным тепловым сетям определяются как параметрами тепловой сети (способ прокладки, характеристики тепловой изоляции, протяженность теплопроводов), что определяет уровень тепловых потерь при транспортировке теплоты, так и показателями работы установок для горячего водоснабжения (площадь поверхности теплопередачи, расход сетевой воды). Наиболее применяемыми в схемах центральных тепловых пунктов являются двухступенчатые установки, позволяющие снизить расход сетевой воды для нужд горячего водоснабжения [1]. В работах [2,3] проведена оценка изменения показателей водоподогревателей при условии, что в исходном варианте (общемикрорайонная водоподогревательная установка при четырехтрубной сети) предусмотрена двухступенчатая смешанная схема присоединения теплообменников горячего водоснабжения к тепловым сетям, применяемая при соотношении максимальных тепловых нагрузок горячего водоснабжения и отопления $0,6 \leq \gamma_{\max} = Q_{h,\max} / Q_{o,\max} \leq 1$. В диапазоне соотношения нагрузок $0,3 \leq \gamma_{\max} < 0,6$ рекомендована к применению двухступенчатая последовательная схема [1], обеспечивающая, в сравнении с другими схемами, минимальный расход сетевой воды через тепловой пункт.

Целью работы является оценка изменения площади поверхности теплообмена водоподогревателей и расхода сетевой воды при переходе к двухтрубным микрорайонным тепловым сетям при условии, что в исходном варианте исполнения системы теплоснабжения микрорайона была предусмотрена двухступенчатая последовательная схема присоединения теплообменников горячего водоснабжения к тепловым сетям. Теплообменники горячего водоснабжения, устанавливаемые на индивидуальных тепловых пунктах зданий при переходе к двухтрубным микрорайонным сетям, присоединены по одноступенчатой параллельной схеме.

Теплопроизводительность теплообменников первой ступени для двухступенчатой последовательной схемы принято определять по балансовой нагрузке горячего водоснабжения, второй ступени – по разности максимального расхода тепла на горячее водоснабжение ($Q_{h,\max}$) и производительности первой ступени [1]

$$Q_1 = G_{h,cp} \cdot K_B \cdot (t_{h1} - t_x) \cdot C ; \quad (1)$$

$$Q_2 = Q_{h,\max} - Q_1 . \quad (2)$$

В приведенных уравнениях $G_{h,cp}$ – среднечасовой расход нагреваемой воды; K_B – поправочный коэффициент для компенсации небаланса тепла на отопление, вызываемого неравномерностью суточного графика водопотребления (при отсутствии в

системе баков-аккумуляторов $K_B = 1,2$); t_x, t_{h1} – температура холодной воды и нагреваемой воды после первой ступени соответственно; C – удельная теплоемкость воды.

Расчетный расход сетевой воды на ввод в центральный тепловой пункт с учетом отопительной нагрузки определяют по формуле [1]

$$G_{h,cp} = \frac{Q_o' + \frac{Q_{h,cp}}{1 + K_{ТП}} \left(K_B \cdot \frac{55 - t_{h1}}{55 - t_x} + K_{ТП} \right)}{(\tau_1' - \tau_2') \cdot C}, \quad (3)$$

где Q_o' – расход теплоты на отопление при температуре наружного воздуха в точке излома графика температур; $Q_{h,cp} = Q_{h,max} / K_q$ – средний расход тепла на горячее водоснабжение; K_q – коэффициент часовой неравномерности водопотребления; $K_{ТП}$ – коэффициент для учета потерь тепла трубопроводами системы (при наличии наружных распределительных сетей горячего водоснабжения от ЦТП $K_{ТП} = 0,35$); τ_1', τ_2' – соответственно, температура сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах теплосети в точке излома графика температур.

Расчетную температуру сетевой воды на выходе из подогревателей первой ступени определяют с учетом того, что на входе в подогреватели она равна температуре воды на выходе из системы отопления в точке излома графика температур (τ_2') [4]

$$\tau_{21} = \tau_2' - \frac{Q_1}{G_c^p \cdot C}. \quad (4)$$

Температуру сетевой воды на выходе из подогревателей второй ступени находят из условия, что в расчетном режиме вся сетевая вода проходит через водоподогреватель

$$\tau_{22} = \tau_1' - \frac{Q_2}{G_c^p \cdot C}. \quad (5)$$

Температуру нагреваемой воды на входе в аппараты второй ступени определяют из выражения

$$t_{h2} = t_r - \frac{Q_2}{G_{h,max} \cdot C}, \quad (6)$$

где t_r – температура горячей воды; $G_{h,max}$ – максимальный расход подаваемой воды.

С учетом полученного в [2] выражения для расхода сетевой воды через индивидуальные тепловые пункты зданий при одноступенчатом присоединении теплообменников горячего водоснабжения, формула для оценки изменения расхода сетевой воды при переходе к двухтрубным тепловым сетям имеет вид

$$\frac{\sum_{i=1}^n G_i}{G_c^p} = \frac{1}{A} \left[0,093 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n m_i^{0,817}}{m} + \frac{1}{\gamma_{\max} (\tau_1^p - \tau_2^p)} \right]; \quad (7)$$

$$A = \frac{0,0122}{\gamma_{\max}} + (11,83 - 0,195 \cdot t_{h1}) \cdot 10^{-3},$$

где m_i – число потребителей, получающих горячую воду от данного ИТП; m – общее число потребителей воды в микрорайоне; τ_1^p, τ_2^p – расчетная температура сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах теплосети, n – число зданий.

Формула (7) получена с учетом того, что расход теплоты на отопление при температуре наружного воздуха в точке излома графика температур и максимальный (расчетный) связаны соотношением

$$Q_o = Q_{o,\max} \cdot \frac{t'_e - t'_n}{t_e - t_{p,o}}, \quad (8)$$

где t_e – температура внутреннего воздуха в помещении; $t_{p,o}, t'_n$ – температура наружного воздуха расчетная для отопления и в точке излома температурного графика соответственно.

В расчетах приняты значения температур $\tau_1^p = 150$ °С, $\tau_2^p = 70$ °С, $t'_n = 3,5$ °С, $t_e = 18$ °С, $t_{p,o} = -23$ °С, $\tau'_1 = 77$ °С, $\tau'_2 = 42$ °С, $25 \leq t_{h1} \leq 35$ °С и диапазон изменения соотношения тепловых нагрузок $0,3 \leq \gamma_{\max} \leq 0,6$. При вычислениях рассмотрены варианты застройки идеализированных жилых групп, характеристики которых приведены в табл. 1. Результаты расчетов для значения температуры нагрева воды в теплообменниках первой ступени $t_{h1} = 35$ °С приведены в табл. 2.

Таблица 1 – Характеристики расчетных вариантов

Показатель	Номер варианта			
	1	2	3	4
Количество жилых домов в группе, n	50	20	10	3
Количество жителей в одном доме, m_o , чел	200	500	1000	3333

Полученные результаты свидетельствуют о незначительном влиянии температуры нагрева воды на первой ступени на величину соотношения расходов сетевой воды. Различия для $t_{h1} = 35$ °С и $t_{h1} = 25$ °С находятся в пределах 1–4 %, поэтому в диапазоне возможных расчетных значений t_{h1} и $\gamma_{\max}$ следует ожидать увеличения требуемого расхода сетевой воды примерно в 1,5–2,2 раза.

Таблица 2 – Соотношение расходов сетевой воды для жилых групп

Соотношение максимальных тепловых нагрузок, $\gamma_{\max}$	Номер варианта			
	1	2	3	4
0,3	1,67	1,55	1,48	1,37
0,4	1,87	1,72	1,62	1,47
0,5	2,05	1,86	1,74	1,57
0,6	2,21	2,0	1,86	1,65

Общая площадь теплообмена водоподогревательной установки найдена как сумма площадей аппаратов ступеней, которые вычислены из уравнения теплопередачи по расчетной теплопроизводительности

$$F = F_1 + F_2 = Q_{h,\max} \left(\frac{A_1}{K_1 \cdot \Delta t_1} + \frac{1 - A_1}{K_2 \cdot \Delta t_2} \right); \quad (9)$$

$$A_1 = \frac{K_B}{K_q} \cdot \frac{t_{h1} - t_x}{t_r - t_x},$$

где K_1, K_2 – коэффициенты теплопередачи для теплообменников, соответственно, первой и второй ступени; $\Delta t_1, \Delta t_2$ – средняя логарифмическая разница температур теплоносителя и нагреваемой воды на ступенях.

Для одноступенчатой схемы присоединения теплообменников горячего водоснабжения к теплосети, используемой при оборудовании индивидуальных тепловых пунктов зданий, суммарную площадь поверхности теплообмена подогревателей горячей воды с достаточной степенью точности можно определить по формуле [3]

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0,108 \sum_{i=1}^n m_i^{0,817}, \quad (10)$$

где m_i – число жителей в здании; n – число зданий.

Изменение площади поверхности теплообменников при переходе от микрорайонной водоподогревательной установки, собранной по двухступенчатой последовательной схеме, к схеме с приготовлением горячей воды на ИТП зданий можно оценить по формуле

$$\frac{\sum_{i=1}^n F_i}{F} = \frac{0,108 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta t_1 \cdot \Delta t_2}{A_1 \cdot K_2 \cdot \Delta t_2 + (1 - A_1) K_1 \cdot \Delta t_1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n m_i^{0,817}}{m}. \quad (11)$$

С использованием полученных формул выполнены расчеты для идеализированных групп жилых зданий (табл.1) в предположении, что коэффициенты теплопередачи

для теплообменных аппаратов ступеней ВПУ и подогревателей, установленных на индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) одинаковы, т.е. $K_1 = K_2 = K = 1300 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Вычисления выполнены при следующих условиях: $K_B = 1,2$; $K_q = 2,6$; $t_f = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$; $t_x = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$, диапазон изменения соотношения тепловых нагрузок $0,3 \leq \gamma_{\max} \leq 0,6$. диапазон изменения температуры нагрева воды на первой ступени $25 \leq t_{h1} \leq 35 \text{ } ^\circ\text{C}$. Результаты расчетов представлены на рис. 1. Приведенные графические зависимости свидетельствуют, что при соотношении исходных максимальных тепловых нагрузок $\gamma_{\max} > 0,4$ и числе жителей $m_o > 200$ следует ожидать уменьшения теплообменной поверхности подогревателей горячей воды. Рост площади поверхности теплопередачи отмечен при $\gamma_{\max} = 0,3$ и числе потребителей горячей воды, обслуживаемых одним ИТП, $m_o < 400$. Практически это значит, что при переходе на двухтрубную систему теплоснабжения в случае застройки жилой группы девятиэтажными зданиями с числом секций 4 и более не следует ожидать увеличения суммарной площади поверхности устанавливаемых на ИТП теплообменных аппаратов при переходе на двухтрубную систему теплоснабжения.

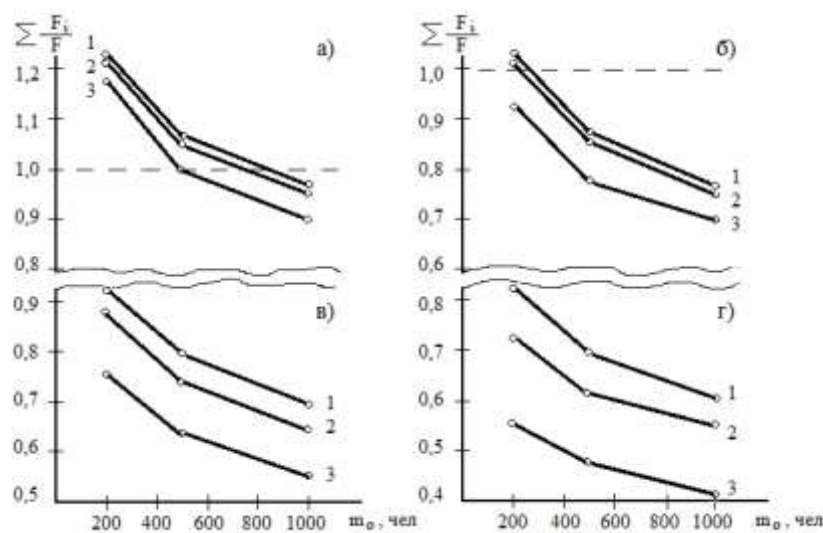


Рисунок 1 – Влияние количества потребителей горячей воды на изменение площади теплообмена подогревателей

а) – $\gamma_{\max} = 0,3$; б) – $0,4$; в) – $0,5$; г) – $0,6$;

1 – $t_{h1} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$; 2 – $t_{h1} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$; 3 – $t_{h1} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$

Сопоставление теплообменных поверхностей, требуемых к установке на ИТП зданий для двухступенчатых смешанной и последовательной схем присоединения выполнено на рис. 2. Сравнение проведено для рекомендованных для каждой из схем диапазонов изменения соотношения максимальных тепловых нагрузок горячего водоснабжения и отопления ($0,3 \leq \gamma_{\max} \leq 0,6$ для последовательной и $0,6 \leq \gamma_{\max} \leq 1$ для смешанной) и наиболее вероятном значении температуры $t_{h1} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$.

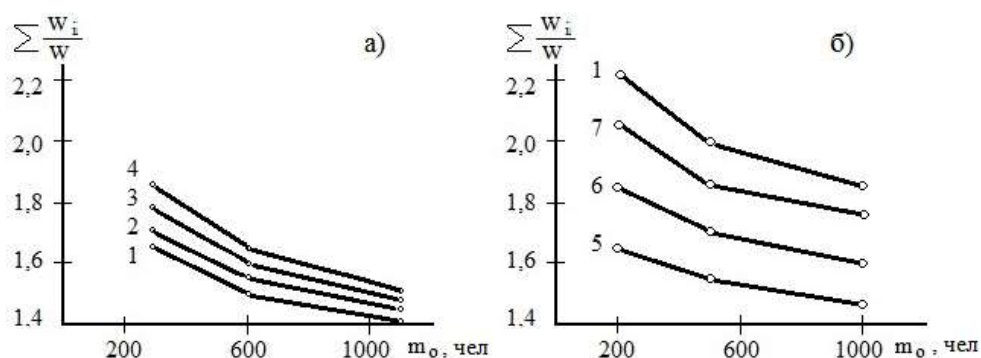


Рисунок 2 – Влияние количества потребителей горячей воды на изменение расхода сетевой воды через теплообменники горячего водоснабжения при $t_{h1} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$

а) – при двухступенчатой смешанной схеме присоединения микрорайонной установки (исходный вариант); б) – при двухступенчатой последовательной схеме; 1 – $\gamma_{\max} = 0,6$; 2 – 0,7; 3 – 0,8; 4 – 1,0; 5 – 0,3; 6 – 0,4; 7 – 0,5

Выводы

1. Предложены формулы для оценки изменения площади теплопередачи подогревателей горячего водоснабжения и расхода сетевой воды при переходе к двухтрубной схеме теплоснабжения микрорайонов.

2. При использовании в исходном варианте исполнения микрорайонной водонагревательной установки (ВНУ) двухступенчатой смешанной схемы присоединения подогревателей при переходе к двухтрубной системе теплоснабжения микрорайона следует ожидать снижения суммарной площади поверхности теплообменников ИТП в сравнении с величиной поверхности исходной микрорайонной ВНУ.

3. При использовании в исходном варианте водонагревательной установки двухступенчатой последовательной схемы присоединения при $\gamma_{\max} < 0,4$ и средней численности жителей в одном здании $m_o < 400$ возможен рост площади поверхности теплопередачи подогревателей горячего водоснабжения

Литература

1. Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения [Текст] / Н.Н. Чистяков, М.М. Грудзинский, В.И. Личак и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 314 с.
2. Алексахин А.А. Оценка изменения теплообменной поверхности водоподогревателей при переходе на двухтрубную микрорайонную систему теплоснабжения [Текст]. // Комунальне господарство міст. Наук.-тех. зб., вип. 110, 2013, с. 131–135.
3. Алексахин А.А. Изменение параметров подогревательных установок при переходе к двухтрубной системе теплоснабжения микрорайона [Текст]. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. №12(143), 2015, с. 2–7.
4. Повышение эффективности работы тепловых пунктов [Текст] / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидков. – М.: Стройиздат, 1990. – 185 с.

Bibliography (transliterated)

1. Povyishenie effektivnosti raboty sistem goryachego vodosnabzheniya [Tekst] / N.N. Chistyakov, M.M. Grudzinskiy, V.I. Lichak i dr. – M.: Stroyizdat, 1988. – 314 p.
2. Aleksahin A.A. Otsenka izmeneniya teploobmennoy poverhnosti vodopodogrevateley pri perehode na dvuhtrubnuyu mikrorayonnuyu sistemu teplosnabzheniya [Tekst]. // Komunalne gospodarstvo mIst. Nauk.-teh. zb., vip.110, 2013, p.131–135.
3. Aleksahin A.A. Izmenenie parametrov podogrevatelnykh ustanovok pri perehode k dvuhtrubnoy sisteme teplosnabzheniya mikrorayona [Tekst]. // Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit. #12(143), 2015, p. 2–7.
4. Povyishenie effektivnosti raboty teplovykh punktov [Tekst] / N.M. Zinger, V.G. Bestolchenko, A.A. Zhidkov. – M.: Stroyizdat, 1990. – 185 p.

УДК 658.264

Алексахін О.О., Єна С.В., Гордієнко О.П., Ландар А.О., Бурда О.С.

**ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕХОДУ
ДО ДВОТРУБНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

Запропоновано формули для визначення площі поверхні теплопередачі і витрат мережної води при переході від чотиритрубною системи теплопостачання мікрорайону до двотрубною. Формули отримано при умові, що у вихідному варіанті теплообмінники гарячого постачання приєднано до теплових мереж за двоступінчастою послідовною схемою. На прикладі ідеалізованих груп житлових будівель проведено оцінки впливу кількості мешканців на зміну площі теплопередачі і витрат теплоносія.

Aleksakhin O.O., Yena S.V., Hordiienko O.P., Landar A.O., Burda O.S.

**ON EVALUATION OF EFFICIENCY OF HEAT SUPPLY SYSTEM CHANGING IN-
TO TWO-PIPE SYSTEM**

The formulas have been proposed to determine the changes of heat transfer surface area and heat-system water consumption while four-pipe district heating system has been changed into two-pipe heating system. The formulas have been obtained under the condition that originally hot water supplying system heat exchangers and heating nets were connected by two-stage series scheme. The influence of district population on changes of heat transfer surface area and heat-system water consumption has been investigated taking into consideration idealized groups of residential buildings.