

УДК 658.264

А.А. Алексахин<sup>1</sup>, А.В. Бобловский<sup>1</sup>, О.М. Стахнюк<sup>2</sup>, О.В. Юсифова<sup>2</sup><sup>1</sup>Харковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, г. Харьков<sup>2</sup>Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УТЕПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ НЕЗАВИСИМОМ ПРИСОЕДИНЕНИИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

На основании решения уравнений теплового баланса для теплообменных аппаратов горячего водоснабжения, присоединенных к тепловой сети по двухступенчатой смешанной схеме, и отопительного теплообменника получены уравнения для определения расхода сетевой воды. Уравнения позволяют выполнять расчеты с учетом возможного утепления зданий.

**Ключевые слова:** центральный тепловой пункт, теплообменный аппарат, расход теплоносителя.

Повышение термического сопротивления ограждающих конструкций зданий путем нанесения слоя дополнительной теплоизоляции остается важным резервом снижения теплопотребления зданиями, построенными с 60-х годов прошлого столетия. При утеплении строительных конструкций зданий микрорайона с централизованным горячим водоснабжением и двухступенчатым присоединением подогревателей воды для хозяйственно-бытовых нужд [1, 2] изменение расходов теплоты, и следовательно, теплоносителя для отопления заметно влияет на режимы теплообменников горячего водоснабжения.

Целью работы является определение расхода теплоносителя через теплообменные аппараты горячего водоснабжения при двухступенчатой смешанной схеме присоединения их к тепловым сетям и независимом присоединении системы отопления с учетом возможного утепления зданий.

Параметры водонагревательной установки (рис. 1) можно определить, решая систему, составленную из уравнений тепловой производительности теплообменников первой (1) и второй (2) ступени водонагревательной установки и баланса теплоты (3) при смешивании потоков теплоносителя перед входом в первую ступень:

$$Q_1 = W_h(t_{h1} - t_x) = (W_c + W_2)(\tau_8 - t_{21}) = \varepsilon_1 W_{1м}(\tau_8 - t_x), \quad (1)$$

$$W_h(t_x - t_{h1}) = W_2(\tau_1 - t_{22}) = \varepsilon_2 W_{2м}(\tau_1 - t_{h1}), \quad (2)$$

$$(W_c + W_2)\tau_8 = W_c \tau_7 + W_2 t_{22}, \quad (3)$$

где  $W_h$  – расход нагреваемой воды;  $W_2$ ,  $W_c$  – расход теплоносителя через вторую ступень и систему отопления, соответственно;  $\varepsilon_1, W_{1м}$  – удельная тепловая производительность и меньший из эквивалентов расходов сред на первой ступени;  $\varepsilon_2, W_{2м}$  – то же самое на второй ступени;  $t_x$ ,  $t_r$  – температура холодной и горячей воды;  $t_{h1}$  – температура нагрева воды на первой ступени;  $\tau_1$ ,  $t_{21}$ ,

$t_{22}$  – температура теплоносителя в подающем трубопроводе тепловых сетей и на выходе первой и второй ступени, соответственно;  $\tau_8$  – температура теплоносителя на входе в первую ступень.

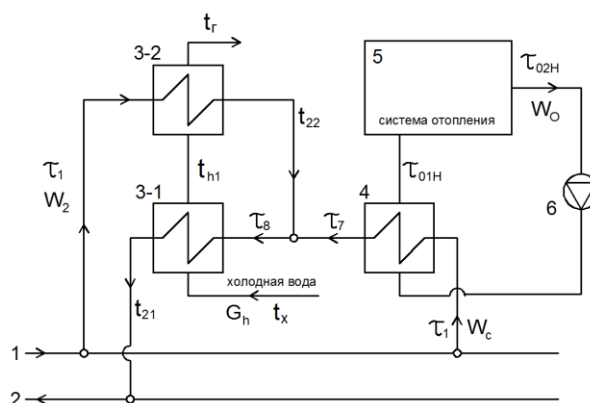


Рис. 1 – Принципиальная схема теплового пункта с двухступенчатым смешанным присоединением теплообменников горячего водоснабжения и независимым присоединением системы отопления.

1, 2 – подающий и обратный трубопроводы тепловой сети; 3-1; 3-2 – первая и вторая ступень водонагревательной установки; 4 – отопительный теплообменник; 5 – система отопления; 6 – насос

Температуру сетевой воды на выходе отопительного теплообменника  $\tau_7$  можно определить из балансовых соотношений для расхода теплоты на отопление "утепленного" здания ( $Q_{он}$ ):

$$Q_{он} = Q_e \cdot Q_{он} \cdot \mu = W_c(\tau_1 - \tau_7) = \varepsilon_o W_m(\tau_1 - \tau_{o2н}), \quad (4)$$

где  $O_b = (t_b - t_3)/(t_b - t_{p0})$  – относительная отопительная нагрузка;  $t_b$  – температура воздуха в помещении;  $t_3$ ,  $t_{p0}$  – соответственно текущая и расчетная для отопления температура воздуха;  $Q_{op}$  – расчетный расход теплоты на отопление до утепления зданий;  $\varepsilon_o$  – удельная тепловая производительность

отопительного теплообменника;  $W_m$  – меньший из эквивалентов сред через отопительный теплообменный аппарат;  $\mu$  – коэффициент, учитывающий эффективность дополнительной теплоизоляции зданий.

Температура сетевой воды на входе и выходе системы отопления утепленного здания согласно [3] составляет соответственно:

$$\tau_{o1n} = t_e + 0,5 \cdot \mu \cdot \theta \cdot Q_e + (\mu \cdot Q_e)^{0,8} \Delta t_{np,p}, \quad (5)$$

$$\tau_{o2n} = \tau_{o1n} - \mu \cdot \theta \cdot Q_e, \quad (6)$$

где  $\theta$  – расчетное охлаждения сетевой воды в системе отопления здания,  $\Delta t_{np,p}$  – расчетная разность средней температуры воды в отопительном приборе и воздуха в помещении для режима до утепления.

Величина коэффициента  $\mu$  равна отношению расчетных расходов теплоты на отопление здания после ( $Q_{opn}$ ) и до утепления строительных конструкций ( $Q_{op}$ ):

$$\mu = Q_{opn} / Q_{op}, \quad (7)$$

Оценки, проведенные для ряда типовых проектов жилых домов, свидетельствуют, что при условии обеспечения современных требований к термическому сопротивлению конструкций наружных ограждений общее снижение расхода теплоты для зданий, построенных до введения новых нормативов, находится в пределах 25...40% [4].

Результаты решения системы уравнений (1)...(3) удобнее представить в виде отдельных уравнений в зависимости от соотношения эквивалентов расходов сред на ступенях водонагревательной установки (таблица 1)

При известной величине расходов греющего теплоносителя через вторую ступень основные показатели работы водонагревательной установки (ВНУ) можно вычислить по приведенным в таблице 2 формулам.

Таблица 1.- Расчетные формулы для вычисления расхода теплоносителя через вторую ступень водонагревательной установки

Условия применения	Формула	№ формулы
$W_{1M} = W_h$ $W_{2M} = W_h$	$W_{2B} = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \gamma (\tau_1 - t_r) - W_{CB} \{ (1 - \varepsilon_2) [(1 - \varepsilon_1) \tau_x + \varepsilon_1 \tau_7] + \varepsilon_2 \tau_1 - t_r \}}{(1 - \varepsilon_2) [(1 - \varepsilon_1) \tau_x + \varepsilon_1 \tau_1] + \varepsilon_2 \tau_1 - t_r}$	(8)
$W_{1M} = W_h$ $W_{2M} = W_2$	$a_1 W_{2B}^2 + b_1 W_{2B} + c_1 = 0$ $a_1 = \varepsilon_2 (1 - \varepsilon_1) (\tau_1 - t_x),$ $b_1 = \gamma W_{CB} [\varepsilon_2 (\tau_1 - t_x) - \varepsilon_1 \varepsilon_2 (\tau_1 - t_r) - (t_r - t_x)],$ $c_1 = \gamma W_{CB} [\varepsilon_1 (\tau_7 - t_x) - (t_r - t_x)]$	(9)
$W_{1M} = W_1$ $W_{2M} = W_h$	$a_2 W_{2B}^2 + b_2 W_{2B} + c_2 = 0$ $a_2 = \varepsilon_1 \varepsilon_2 (\tau_1 - t_x),$ $b_2 = \varepsilon_1 \varepsilon_2 [W_{CB} (\tau_7 - t_x) + \gamma (\tau_1 - t_r)] - \gamma (\tau_1 - t_x) (\varepsilon_1 + \varepsilon_2),$ $c_2 = \gamma^2 (t_r - t_x) - \varepsilon_1 \gamma W_{CB} (\tau_7 - t_x)$	(10)
$W_{1M} = W_c + W_2$ $W_{2M} = W_h$	$W_{2B1} = -W_{CB} \frac{(\tau_7 - t_x)}{(\tau_1 - t_x)} + \gamma \frac{t_r (1 - \varepsilon_1 \varepsilon_2) - \tau_1 \varepsilon_2 (1 - \varepsilon_1) (1 - \varepsilon_2) \tau_x}{(1 - \varepsilon_2) \varepsilon_1 (\tau_1 - t_x)},$ $\gamma = \frac{W_h}{W_{op}}$	(11)

Порядок определения расходов греющей воды через отопительный теплообменник можно сформулировать следующим образом. Приняв в первом приближении расход сетевой воды  $W_c$ , вычисляют удельную тепловую производительность отопительного теплообменника [2]:

$$\varepsilon_o = \left( 0,35 \frac{W_m}{W_o} + 0,65 + \frac{1}{\Phi_o} \sqrt{\frac{W_m}{W_o}} \right)^{-1}, \quad (18)$$

где  $W_m, W_o$  – меньший и больший эквиваленты расходов сред в теплообменном аппарате;

$\Phi_o = K_p F_p / \sqrt{W_{mp} / W_{op}}$  – параметр теплообменника;  $K_p, F_p$  – коэффициент теплопередачи для расчетного режима и площадь поверхности теплообмена аппарата;  $W_{mp}, W_{op}$  – тепловые эквиваленты расходов сред в расчетном режиме.

Из соотношения (4) определяют меньший эквивалент расхода:

$$W_{ms} = \frac{W_m}{W_{op}} = \frac{\mu \cdot \theta \cdot Q_{oe}}{\varepsilon_o (\tau_1 - \tau_{o2n})} = W_{ce}, \quad (19)$$

Таблица 2.- Формулы для определения показателей водонагревательной установки

Параметр	Обозначение	Формула	№ формулы
Температура нагрева воды на первой ступени	$t_{h1}$	$W_{2B} = \frac{\left[ t_x \left( 1 - \varepsilon_1 \frac{W_{1M}}{W_h} \right) + \varepsilon_1 \frac{W_{1M}}{W_h} \frac{W_c \tau_7 + W_2 \tau_1 (1 - \varepsilon_1)}{W_c + W_2} \right]}{\left[ 1 - \varepsilon_1 \varepsilon_2 \frac{W_{1M} W_2}{W_h (W_c + W)} \right]}$	(12)
Тепловая производительность первой ступени	$Q_1$	$W_h (t_{h1} - t_x)$	(13)
Тепловая производительность второй ступени	$Q_2$	$Q_h - Q_1$ ( $Q_h$ – расход теплоты на горячее водоснабжение)	(14)
Температура теплоносителя после второй ступени	$t_{22}$	$\tau_1 - Q_2 / W_2$	(15)
Температура теплоносителя перед первой ступенью	$\tau_8$	$\frac{W_2 t_{22} + W_c \tau_7}{W_c + W_2}$	(16)
Температура теплоносителя после первой ступени	$t_{21}$	$\tau_8 - \frac{Q_1}{W_c + W_2}$	(17)

Если расхождение результата вычислений по формуле (19) и принятой в первом приближении величины  $W_{св}$  превышает необходимую величину, следует выполнить следующее уточнение.

Вычисление параметров системы отопления выполнено для двух характерных значений температуры наружного воздуха: расчетной для отопления ( $t_{p0} = -23^\circ\text{C}$ ) и в точке излома графика температур ( $3,5^\circ\text{C}$ ). Принято температуру воздуха в помещениях  $18^\circ\text{C}$ , максимальный расход теплоты на отопление зданий до их утепления 1,16 МВт, конструктивный параметр отопительного теплообменника  $\Phi_0 = 1,7$ .

Результаты вычислений представлены на рис.2, из которого видно, что утепление зданий обуславливает снижение температуры сетевой воды на входе и выходе системы отопления и расхода греющего теплоносителя через отопительный теплообменник, что обеспечивает необходимое уменьшение расхода теплоты.

Влияние изменения расчетного расхода теплоты при утеплении зданий на показатели теплообменников горячего водоснабжения рассмотрены для следующих условий: расход теплоты на отопление  $Q_{op} = 1,16$  МВт; максимальный и средний расход теплоты на горячее водоснабжение  $Q_{h,max}=0,75$  и  $Q_{h,cp}=0,313$  МВт соответственно; конструктивный параметр теплообменников первой и второй ступеней  $\Phi_1 = 1,17$ ,  $\Phi_2 = 2,83$ , температура холодной и горячей воды  $5^\circ\text{C}$  и  $60^\circ\text{C}$  соответственно. Результаты в по

приведенным в таблице 2 формулам для температуры наружного воздуха в точке излома температурного графика представлены на рисунке 3.

Как видно из графических данных, уменьшение температуры сетевой воды в обратной линии отопительной сети обуславливает снижение тепловой производительности теплообменников первой ступени водонагревательной установки и соответствующий рост производительности аппаратов второй степени увеличением расхода воды из тепловых сетей. Это уменьшает обусловленный утеплением зданий эффект экономии расхода греющего теплоносителя. Превышение может составлять от нескольких процентов до нескольких десятков процентов (см. рис. 4) и должно быть учтено при экономических оценках мероприятий по энергосбережению.

Выводы: 1. Из решения системы балансовых уравнений получены расчетные формулы для определения расхода сетевой воды через вторую ступень водонагревательной установки и температуры теплоносителя в точках схемы теплового пункта. 2. Показано, что утепление зданий микрорайона обуславливает уменьшение расхода воды из тепловых сетей. Но в условиях двухступенчатой смешанной схемы присоединения необходимость увеличения расхода греющей воды через теплообменники второй ступени заметно уменьшает экономию расхода теплоносителя, обусловленную утеплением сооружений микрорайона.

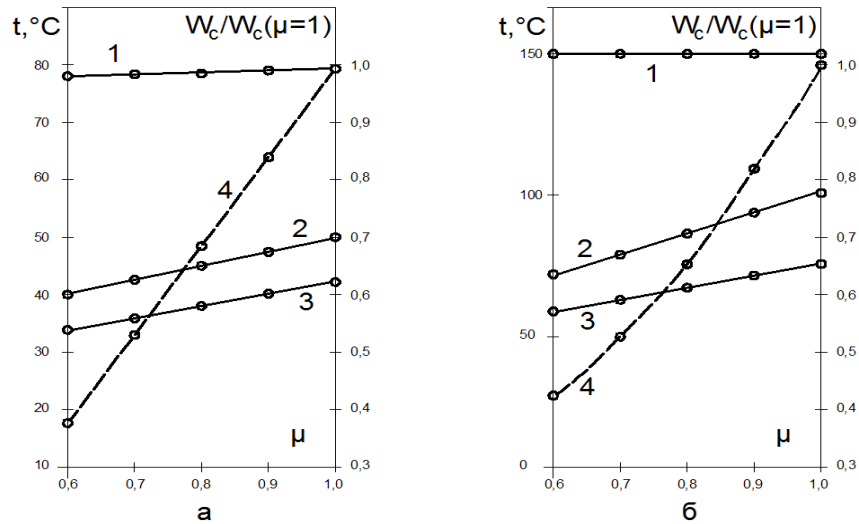


Рисунок 2 – Изменение параметров отопительного теплообменника при утеплении зданий  
 1, 2, 3 – температура сетевой воды в подающем трубопроводе тепловых сетей, на входе в систему отопления и на входе в первую ступень ВНУ, соответственно;  
 4 – относительный расход сетевой воды  
 а – при температуре наружного воздуха в точке излома графика температур;  
 б – при расчетной для отопления температуре наружного воздуха.

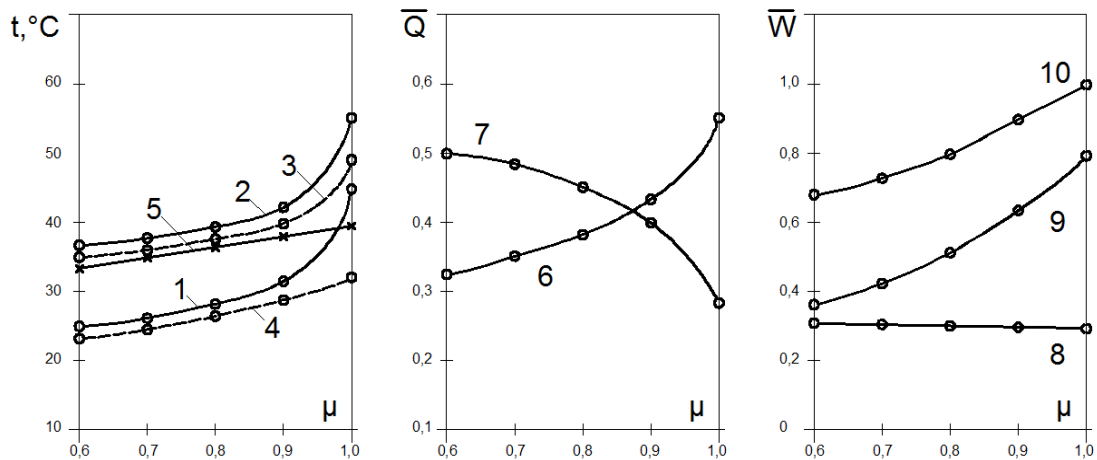


Рисунок 3 – Изменение показателей работы водонагревательной установки при утеплении зданий (при температуре наружного воздуха в точке излома графика температур и среднесуточном расходе воды)  
 1 – температура горячей воды на выходе из первой ступени;  
 2, 3 – температура сетевой воды на выходе из второй ступени и на входе в первую ступень, соответственно;  
 4, 5 – температура сетевой воды на выходе из первой ступени и отопительного теплообменника, соответственно;  
 6, 7 – тепловая производительность первой и второй ступени, соответственно;  
 8, 9, 10 – расход сетевой воды через вторую ступень, отопительный теплообменник и первую ступень ВНУ.

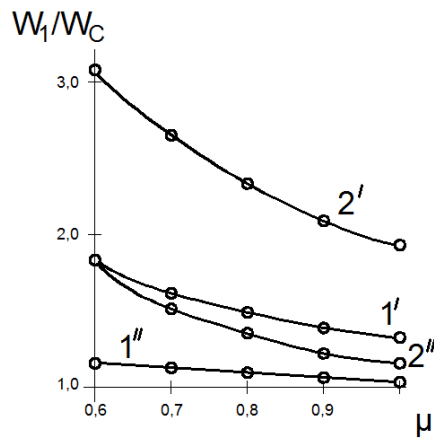


Рисунок 4 – Соотношение расхода сетевой воды через первую ступень ВНУ и отопительный теплообменник  
1 – при среднесуточном расходе горячей воды;  
2 – при максимальном (с одним штрихом –  $\bar{Q}_o = 0.354$ ; с двумя – при  $\bar{Q}_o = 1$ )

### Литература

1. Зингер Н.М., Тарадай А.М., Бармина Л.С. Пластинчатые теплообменники в системах теплоснабжения М.: Энергоиздат, 1995. - 256 с.
2. Тарадай А.М. Основы разработки пластинчатых теплообменников для систем теплоснабжения Харьков: Основа, 1998. - 192 с.
3. Алексахин А.А., Бобловский А.В., Деркач И.Л. Показатели работы системы отопления функционирующего здания при дополнительной теплоизоляции строительных конструкций. Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции «Энерго- и ресурсосберегающие технологии в системах теплогазоснабжения и вентиляции». Пенза: ПГУАС, 2011. – С. 103-108
4. Алексахин А.А., Бобловский А.В. Оценка энергосберегающего потенциала функционирующих жилых зданий. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, № 1(95), 2012г. С. 10-15.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.М. Ганжа, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

**Автор:** АЛЕКСАХИН Александр Алексеевич  
Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков, кандидат технических наук, доцент

**Автор:** БОБЛОВСКИЙ Александр Владимирович  
Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков  
E-mail – boblovsky@yandex.ua

**Автор:** СТАХНЮК Ольга Михайловна  
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков

**Автор:** ЮСИФОВА Офеля Вагифовна  
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков

### EVALUATION OF THE EFFECT OF THERMAL INSULATION OF BUILDINGS ON THE PERFORMANCE OF HEAT EXCHANGERS HOT WATER FOR INDEPENDENT CONNECTION OF THE HEATING SYSTEM

A.A. Aleksahin, A.V. Boblovsky, O.M. Stahnuk, O.V. Yusifova

*On the basis of the decision of the heat balance equations for heat exchangers hot water, attached to a heating system for a two-step mixed circuit, and a heating heat exchanger equations to determine the flow of the water. The equations allow us to perform calculations with consideration of the thermal insulation of buildings.*

*Keywords: Central heating unit, a heat exchanger, the coolant flow.*

### ОЦІНКА ВПЛИВУ УТЕПЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ТЕПЛОБІМНІКІВ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРИ НЕЗАЛЕЖНОМУ ПРИЄДНАННІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

О.О. Алексахін, О.В. Бобловський, О.М. Стахнюк, О.В. Юсіфова

*На основі розв'язання рівнянь теплового балансу для теплообмінних апаратів гарячого водопостачання, які приєднано до теплових мереж за двоступеневою змішаною схемою, та опалювального теплообмінника отримані рівняння для визначення витрат мережної води. Рівняння дозволяють виконувати обчислення з урахуванням можливого утеплення будівель*

*Ключові слова: центральний тепловий пункт, теплообмінний апарат, витрата теплоносія*