

УДК 658.24

А. А. АЛЕКСАХИН, канд. техн. наук

А. В. БОБЛОВСКИЙ

Харьковская национальная академия городского хозяйства, г. Харьков

## ТЕПЛОПOTЕРИ ТРУБОПРОВОДАМИ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РАСЧЕТНОЙ ОТОПИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ЗДАНИЙ МИКРОРАЙОНА

*Проанализировано изменение тепловых потерь трубопроводами микрорайонной сети отопления в зависимости от степени эффективности теплоизоляции строительных конструкций зданий. Показано, что наименьшие тепловые потери характерны для варианта утепления наиболее удаленных от центрального теплового пункта зданий.*

*Проаналізовано зміну теплових втрат трубопроводами мікрорайонної мережі опалення в залежності від ступеня ефективності теплоізоляції будівельних конструкцій. Показано, що найменші тепловтрати характерні для варіанту утеплення найвіддаленіших від центрального теплового пункту будівель.*

### Введение

Повышение термического сопротивления наружных ограждений путем нанесения дополнительного слоя теплоизоляции остается главным резервом уменьшения расхода теплоты на отопление построенных до начала нынешнего века зданий. Приведение подачи теплоты на отопление утепленного здания в соответствие новым, уменьшенным тепловым потерям возможно осуществить либо реконструкцией системы отопления с целью уменьшения площади поверхности теплообмена отопительных приборов, либо уменьшением температуры теплоносителя в отопительных приборах. Второй способ может быть реализован переходом на новый температурный график отпуска теплоты источником теплоснабжения, что возможно после утепления всех зданий обслуживаемого источником района города или изменением коэффициента смешения на вводе в отопительный комплекс отдельного здания микрорайона. Такое решение представляется более рациональным.

Уменьшение температуры теплоносителя на входе отопительных приборов утепленных зданий обуславливает снижение его температуры и после системы отопления. При связанной подаче теплоты для теплоснабжения зданий микрорайона изменение проектной расчетной отопительной нагрузки при утеплении зданий отражается и на условиях работы водонагревательной установки горячего водоснабжения [1] и на показателях экономичности транспортирования теплоносителя по микрорайонным сетям. В последнем случае, очевидно, важным является не только уровень снижения расчетной отопительной нагрузки отдельного здания и микрорайона в целом, но и удаленность утепляемых зданий от центрального теплового пункта (ЦТП) микрорайона.

### Основная часть

Изменение потерь теплоты трубопроводами и остывание теплоносителя в отопительной сети рассмотрено на примере группы зданий (рис. 1), присоединенных к ЦТП, с общей расчетной отопительной нагрузкой 8,99 МВт. Расход тепла на отопление отдельных зданий приведен в таблице 1, характеристики сети отопления, проложенной в непроходных каналах, – в таблице 2. Расчеты выполнены для нормативных тепловых потерь трубопроводами и температуре грунта 5°C. При вычислениях не учитывалось возможное изменение температуры грунта на глубине заложения теплопроводов при изменении температуры наружного воздуха. Рассмотрены три характерных режима в зависимости от температуры наружного воздуха: при расчетном для отопления значении; при средней за отопительный период и в точке излома графика температур. Температура теплоносителя в подающем трубопроводе на выходе из ЦТП принята для указанных режимов 145°C, 87°C, 69,3°C.

Относительная отопительная нагрузка при этом равна соответственно  $\bar{Q}_o = 1$ ;  $\bar{Q}_s = 0,49$ ;  $\bar{Q}_g = 0,38$ . Теплотери на участках теплопровода вычислены по формуле:

$$Q_{уч} = q \cdot l \cdot K, \tag{1}$$

$$q = q_n \cdot \frac{\tau - t_{окр}}{\Delta t_n}, \tag{2}$$

где  $q_n$  – нормативные теплотери подающим или обратным трубопроводом для указанного способа прокладки в зависимости от величины диаметра [2];

$l$  – длина участка тепловой сети;

$K$  – коэффициент, учитывающий потери теплоты конструктивными элементами сети (принято  $K=1,15$  [2]);

$\tau$  – текущее значение температуры теплоносителя;

$t_{окр}$  – температура грунта на глубине заложения теплопровода;

$\Delta t_n$  – разница температур теплоносителя и грунта, для которой определены нормативные теплотери.

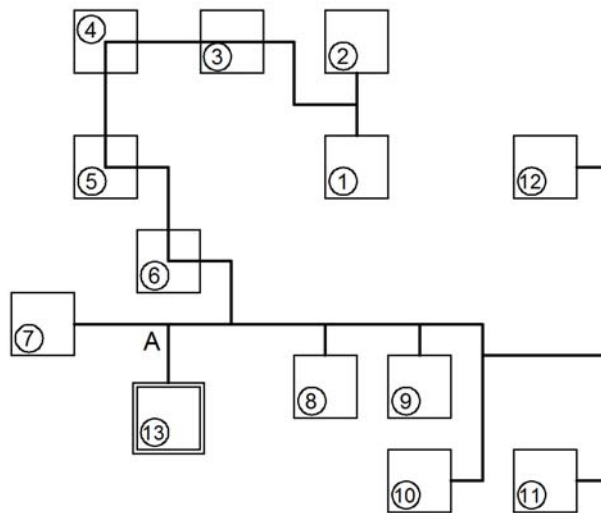


Рис. 1. Схема тепловых сетей микрорайона:  
1-12 – номера зданий; 13 – центральный тепловой пункт

Таблица 1

Расход теплоты на отопление зданий в расчетных условиях

Номер здания (по рис. 1)	1	2	3	4	5	6
Максимальная нагрузка отпления, МВт	0,662	1,166	0,708	0,694	0,655	0,655
Номер здания (по рис. 1)	7	8	9	10	11	12
Максимальная нагрузка отпления, МВт	1,02	0,686	0,708	1,217	0,254	0,545

Характеристики системы теплоснабжения группы зданий

N <sub>п/п</sub>	Показатель	Обозначение	Единица измерения	Величина
1	Максимальный расход теплоты на отопление	Q <sub>о.р.</sub>	КВт	8980
2	Протяженность трубопроводов главной ветви 13–1 (подающий + обратный)	L <sub>1</sub>	м	1039
3	Протяженность ответвления А–12	L <sub>2</sub>	м	640
4	Средний диаметр трубопроводов: – главной ветви – ответвлений	D <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	мм мм	153 133

Остывание теплоносителя на участке трубопровода определено с использованием зависимости:

$$\tau'' = \tau' - \frac{Q_{\text{уч.}}}{c \cdot G_{\text{уч.}}}, \quad (3)$$

где  $\tau''$ ,  $\tau'$  – температура теплоносителя в начале и в конце участка сети;  
 $G_{\text{уч.}}$  – расход теплоносителя на рассматриваемом участке;  
 $c$  – удельная теплоемкость теплоносителя.

Результаты расчетов снижения температуры теплоносителя по длине подающего трубопровода главной ветви представлены на рис. 2, из которого видно, что изменение температуры по координате  $X/L_1$  ( $X$  – координата точки на главной ветви, отсчитанная от ЦТП;  $L_1$  – длина ветви) имеет практически линейный характер при всех рассмотренных значениях температуры наружного воздуха. Зафиксированное в расчетах охлаждение сетевой воды на длине главной ветви находится в диапазоне 1,6–3,6°C. Различие в температурах на вводах в здание обуславливает отличие температуры теплоносителя на выходе отопительных комплексов присоединенных к теплопроводу зданий, которая вычислена по формуле:

$$\tau_{02} = \tau_6 - \frac{\mu \cdot \bar{Q}_o \cdot \Delta\tau_c^p}{\beta}, \quad (4)$$

где  $\tau_6$  – температура теплоносителя в подающем трубопроводе в точке присоединения зданий к тепловой сети;

$\Delta\tau_c^p$  – разность температур в подающем и обратном трубопроводах теплосети при расчетной для отопления температуре наружного воздуха;

$\mu = Q_{\text{ра}}^{\text{ут}} / Q_{\text{ра}}$  – коэффициент, учитывающий снижение расчетной отопительной нагрузки здания при утеплении;

$\beta = G_o^{\text{ут}} / G_o$  – коэффициент, учитывающий уменьшение расхода теплоносителя из теплосети для отопления здания при его утеплении.

При указанном ранее способе подачи теплоты для отопления утепленного здания уменьшение расхода теплоносителя через систему отопления может быть найдено по формуле [3]:

$$\beta = \frac{\mu}{1 + \frac{\Delta\tau_{\text{ТП}}^p (1 - \mu \cdot 0,9)}{\Delta\tau_c^p - 0,9 \cdot \Delta\tau^p}}, \quad (5)$$

где  $\Delta t_{\text{отп}}^{\text{р}}$  – разница средней температуры теплоносителя в отопительном приборе и воздуха в помещении для расчетного режима не утепленного здания;  
 $\Theta^{\text{р}}$  – перепад температур в системе отопления здания для тех же условий.

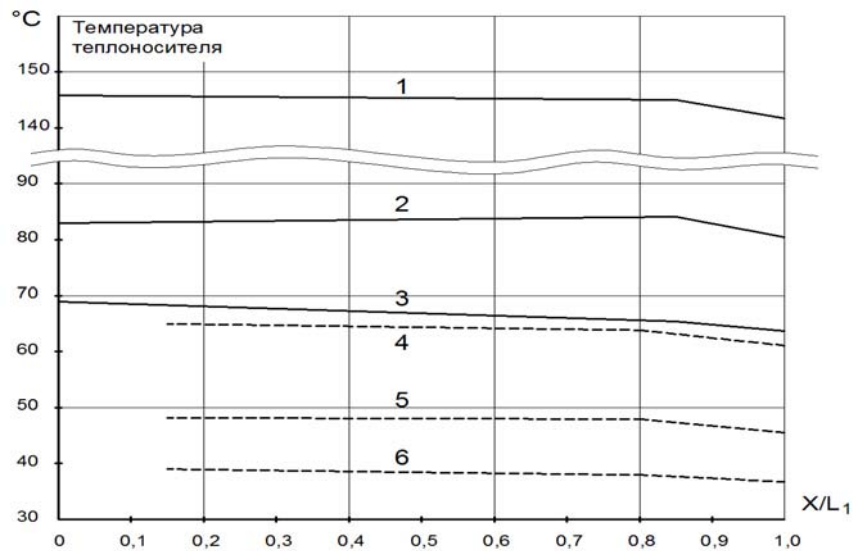


Рис. 2. Изменение температуры теплоносителя по длине главной ветви сети: 1, 2, 3 – в подающем трубопроводе; 4, 5, 6 – на выходе отопительных комплексов зданий; 1, 4 – при  $\bar{Q}_o = 1$ ; 2, 3 – при  $\bar{Q}_o = 0,49$ ; 3, 6 – при  $\bar{Q}_o = 0,38$ .

Из рис. 2, на котором показано также и расчетное изменение температуры  $\tau_{02}$  по длине главной ветви трубопровода, видно, что температура сетевой воды на вводе отопительных комплексов возрастает в направлении от наиболее удаленного от ЦТП здания к ближайшему. Тепловое состояние участка обратного трубопровода формируется под воздействием двух факторов. С одной стороны имеет место остывание из-за тепловых потерь, с другой стороны – изменение теплосодержание потока теплоносителя в магистрали при смешении его с потоком теплоносителя из ответвления к зданию или группе зданий.

Температура теплоносителя в обратном трубопроводе после смешения потоков вычислена по формуле:

$$\tau_2''' = \frac{\tau_2'' \cdot G + \tau_{02}(x) \cdot G_{\text{п}}}{G + G_{\text{п}}}, \quad (6)$$

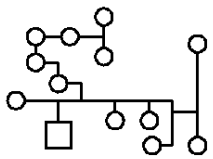
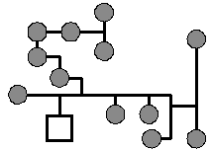


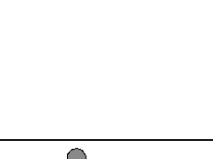
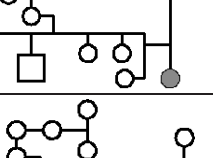
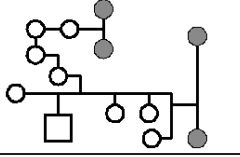
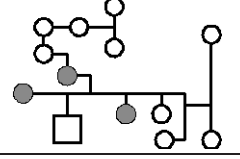
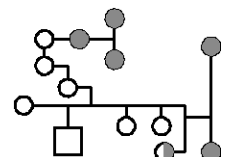
где  $\tau_2''$  – температура теплоносителя в конце расчетного участка до смешения потоков;  
 $G$  – расход теплоносителя на участке до смешения;  
 $\tau_{02}(x)$  – температура на входе в обратный трубопровод ветви из ответвления;  
 $G_{\text{п}}$  – приток массы из ответвления.

При этом, как было показано в [4], в направлении от наиболее удаленного на ветви здания к ЦТП возможен рост температуры сетевой воды по длине обратного трубопровода.

В работе проанализированы тепловые режимы сетей при снижении расчетной отопительной нагрузки микрорайона на 10, 20, 30, 40 и 50 %. Указанное уменьшение расхода теплоты обеспечивалось как за счет равномерного утепления всех зданий микрорайона, так и выборочным утеплением отдельных зданий. Для второго варианта рассмотрены следующие случаи: снижение расхода теплоты на отопление отдельных зданий либо только главной ветви, либо только ответвления, утепление наиболее удаленных на ветвях зданий; утепление ближайших к ЦТП зданий. При расчетах принято, что максимальное снижение расчетной отопительной нагрузки отдельного здания составляет 50 %. Характеристики некоторых из рассмотренных вариантов и результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетов отопительной сети

N п/п	Расчетная схема: ● – утепленные здания; ○ – частично утепленные здания.	Снижение расчетной отопительной нагрузки в целом для группы зданий	Относительная отопительная нагрузка	Расход теплоносителя, кг/с	Теплопотери, КВт	
					общие	Обратной линией сети
1	2	3	4	5	6	7
1.		0% (исходный вариант)	1,0	26,84	165,5	56,22
			0,49		108,5	39,34
			0,38		86,08	31,86
2.		10%	1,0	22,43	158,2	48,91
			0,49		105,8	36,7
			0,38		83,25	29,03
3.		20%	1,0	18,58	152,28	42,94
			0,49		102,97	33,84
			0,38		80,47	26,25
4.		30%	1,0	15,17	145,85	36,5
			0,49		99,42	30,29
			0,38		78,65	24,42
5.		40%	1,0	12,19	139	29,7
			0,49		102,8	33,7
			0,38		72,96	18,73
6.		50%	1,0	9,54	132,74	23,43
			0,49		93,33	24,2
			0,38		72,51	18,29
7.		10%	1,0	23,25	155,6	46,29
			0,49		101,25	32,11
			0,38		80,98	26,76
8.		10%	1,0	23,32	162,2	52,9
			0,49		108,04	38,91
			0,38		85,04	30,8
9.		20%	1,0	19,84	149,08	39,8
			0,49		100,7	31,57
			0,38		79,52	25,29

10		20%	1,0	19,72	162,5	53,04
			0,49		105,3	36,2
			0,38		82,64	28,41
11		30%	1,0	16,96	144,17	34,9
			0,49		97,64	28,5
			0,38		77,25	23,03
12		30%	1,0	16,36	159,6	50,27
			0,49		102,4	33,3
			0,38		80,44	26,21
13		40%	1,0	11,57	131,6	22,3
			0,49		94,18	25,05
			0,38		75,75	21,52
14		40%	1,0	12,81	153,6	44,25
			0,49		103,07	33,94
			0,38		77,49	23,27

Анализ результатов свидетельствует, что наибольшие потери тепла трубопроводами микрорайонной сети имеют место в случае утепления ближайших к ЦТП зданий на ветвях, наименьшие – при утеплении наиболее удаленных зданий. Этот вывод отмечен при всех рассмотренных температурах наружного воздуха и различной степени снижения расхода теплоты на отопление микрорайона. На рис. 3 показано уменьшение величины теплотерь обратными трубопроводами (рис. 3, а) и общих потерь в сети (рис. 3, б) в зависимости от уровня снижения тепловой нагрузки при средней за отопительный период температуре наружного воздуха (относительный расход тепла на отопление  $\bar{Q}_o = 0,49$ ).

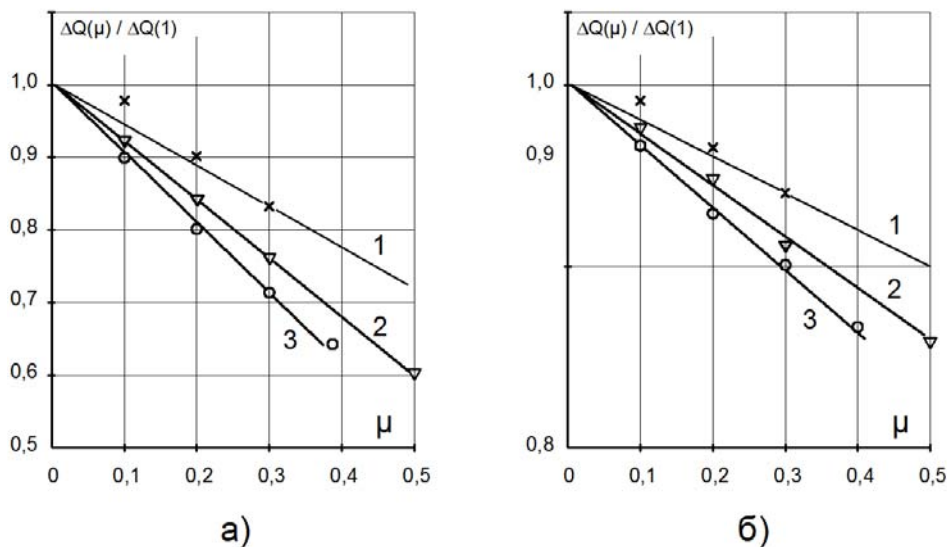


Рис. 3. Зависимость теплотерь трубопроводами сети отопления от уровня снижения расчетной отопительной нагрузки микрорайона при  $\bar{Q}_o = 0,49$ :

а – обратными трубопроводами; б – суммарные.

1 – утепление наиболее удаленных от ЦТП зданий; 2 – одинаковое утепление всех зданий микрорайона; 3 – утепление ближайших к ЦТП зданий.

Как видно из указанного рисунка потери теплоты обратными трубопроводами при утеплении наиболее удаленных зданий примерно на 15 % меньше, чем при утеплении ближайших к ЦТП зданий, а суммарные теплотопотери подающей и обратной линиями меньше приблизительно на 5 %.

Для других значений температуры наружного воздуха наблюдается качественное совпадение характера изменения указанных величин при росте количественных показателей с понижением температуры наружного воздуха. При значении температуры наружного воздуха  $t_n = -23^\circ\text{C}$  (относительная отопительная нагрузка  $\bar{Q}_o = 1$ ) разница для названных вариантов утепления составляет до 17 % для сети в целом и от 16 % до 90 % для обратных трубопроводов. Влияние удаленности утепленных зданий микрорайона от ЦТП на величину потерь теплоты трубопроводами объясняется характером изменения температуры теплоносителя по длине обратного трубопровода. При равномерном утеплении всех зданий жилой группы характер изменения температуры теплоносителя по длине обратного трубопровода качественно совпадает с графиком температуры для исходного варианта (до утепления зданий) при количественном отличии по всей длине ветви примерно на 12 °С (см. рис. 4).

Утепление наиболее удаленных зданий приводит к существенному уменьшению температуры на выходе отопительных комплексов зданий, присоединенных к конечным участкам обратной линии и отражается на снижении температуры теплоносителя на значительной длине обратного трубопровода. Средняя по длине обратной линии температура теплоносителя, вычисленная по формуле (7), для этого варианта заметно меньше, чем для других (рис. 5)

$$\bar{\tau}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n [(\tau_2''' + \tau_2'') \cdot 0.5 \cdot l_i]}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (7)$$

$n$  – число расчетных участков;  $l$  – длина участка

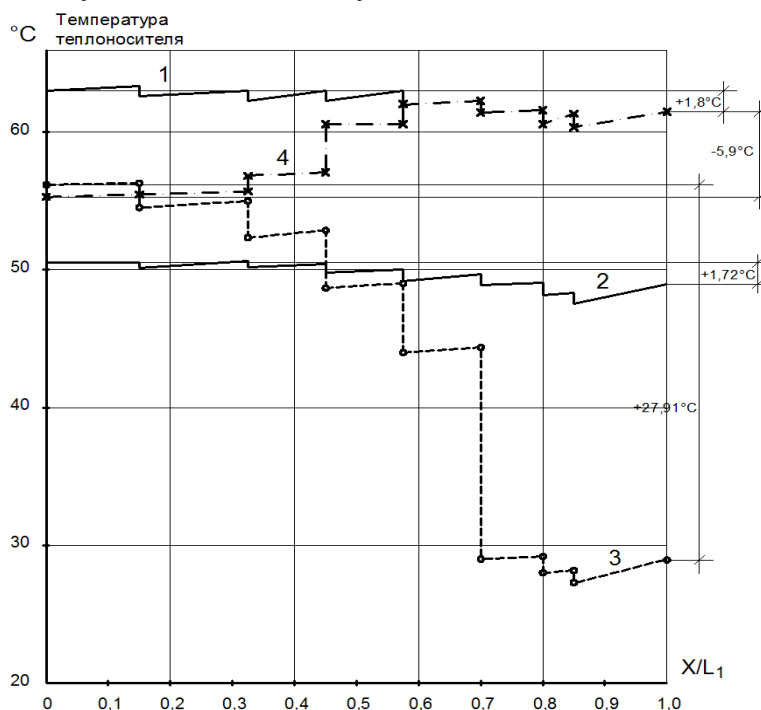


Рис. 4. Изменение температуры теплоносителя по длине обратного трубопровода при  $\bar{Q}_o = 0,49$  и 20% -м снижении расчетной отопительной нагрузки микрорайона:

- 1 – исходный вариант (до утепления); 2 – равномерное утепление всех зданий микрорайона; 3 – утепление наиболее удаленных зданий;
- 4 – утепление ближайших к ЦТП зданий

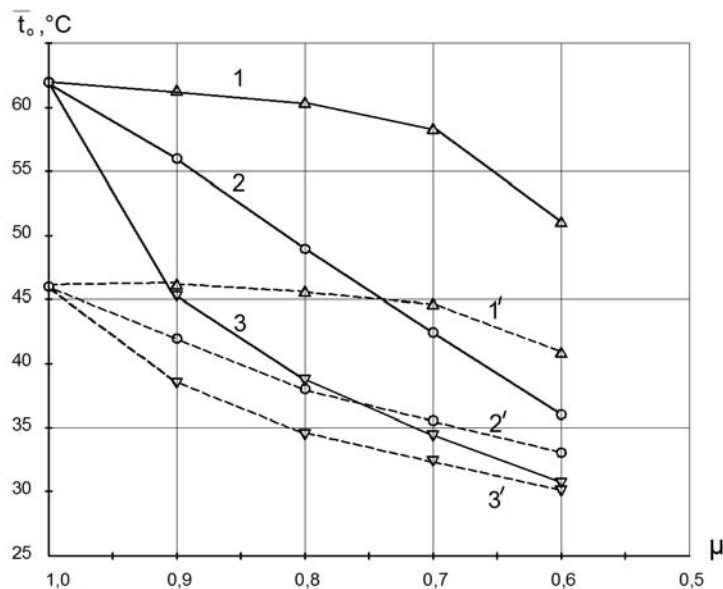


Рис. 5. Изменение средней температуры теплоносителя в обратном трубопроводе главной ветви отопительной сети:  $\Delta$  – утепление ближайших к ЦТП зданий микрорайона;  $\circ$  – утепление всех зданий;  $\nabla$  – утепление наиболее удаленных зданий;  
1, 2, 3 – при  $\bar{Q}_o = 1$ ; 1', 2', 3' – при  $\bar{Q}_o = 0,49$

#### Выводы

1. Величина тепловых потерь трубопроводами микрорайонной сети отопления при утеплении отдельных зданий микрорайона зависит не только от способа прокладки теплопроводов, параметров теплоизоляции трубопроводов и их длины, а и от расположения утепляемых зданий по отношению к ЦТП микрорайона;
2. Для рассмотренной группы зданий наименьшие теплотери имеют место при утеплении наиболее удаленных от ЦТП зданий.

#### Список литературы

1. Алексахін О. О. Визначення показників роботи водо підігрівної установки гарячого водопостачання в умовах зміни розрахункового опалювального навантаження. // Теплоенергетичні установки та екологія на залізничному транспорті. Міжвуз. зб. наук. праць, Харків, Укр ДАЗТ, 2005, вип. 70, С. 123–131.
2. Тепловая изоляция. Справочник строителя / Под ред.. Г. Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.
3. Теплостачання / В. Е. Козин, Т. А. Маркова, А. П. Маркова та ін.. – М.: Вища школа, 1980. – 408 с.
4. Алексахин А. А., Деркач И. Л., Мирошниченко Б. В. Расчет изменения температуры теплоносителя по длине обратного трубопровода тепловых сетей // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып 76. – К.: Техника, 2007. – С. 226–232.

### HEAT LOSS IN THE PIPELINE OF HEATING NETWORK IN SETTLEMENT CHANGE HEATING LOAD OF BUILDINGS HOUSING ESTATE

A. A. ALEKSAHIN, Cand. Tech. Scie., A. V. BOBLOVSKIY

*The change of heat loss heating network pipelines districts depending on the efficiency of thermal insulation of building constructions. It is shown that the lowest heat loss characteristic of the option of warming the most remote from the main substation buildings.*

*Поступила в редакцию 19.05 2011 г.*