

М.Ф. БОЖЕНКО, Д.С. СЕРЕДА, М.І. НОВИЦЬКИЙ

## УТОЧНЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ГРАФІКІВ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ ПРИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОМУ ТЕПЛОПОСТАЧАННІ СПОЖИВАЧІВ

М.Ф. БОЖЕНКО, Д.С. СЕРЕДА, Н.І. НОВИЦЬКИЙ

## УТОЧНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАФИКОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ПРИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

M.F. BOZHENKO, D.S. SEREDA, M.I. NOVITSKYI

## THE REFINEMENT OF THE HEAT CIRCUIT LOAD DIAGRAM WHEN DISTRICT HEATING SCHEME

**Анотація.** Наголошено, що у зв'язку з підвищенням нормативної температури внутрішнього повітря житлових будівель до 20 °С виникає необхідність уточнення температурних графіків теплових мереж при централізованому теплопостачанні споживачів.

За відомими формулами отримані залежності зміни температур води в подавальній та поворотній лініях теплових мереж від температури зовнішнього повітря при  $t_{\text{вн}}^{\text{P}} = 20$  °С для розрахункових температурних графіків 150/70; 130/70; 115/70; 105/70; 95/70 °С для всіх обласних центрів України та деяких міст АР Крим.

Показано, що зміна температури внутрішнього повітря до 20 °С призводить до збільшення витрати мережної води від 4,7 % до 8,3 % порівняно з наявними графіками.

**Ключові слова:** система теплопостачання, споживачі теплоти, температура, теплові мережі, витрата води.

**Аннотация.** Отмечено, что в связи с повышением нормативной температуры внутреннего воздуха жилых зданий до 20 °С возникает необходимость уточнения температурных графиков тепловых сетей при централизованном теплоснабжении потребителей.

По известным формулам были получены зависимости изменения температур воды в подающей и обратной линиях тепловых сетей от температуры наружного воздуха при  $t_{\text{вн}}^{\text{P}} = 20$  °С для расчетных температурных графиков 150/70; 130/70; 115/70; 105/70; 95/70 °С для всех областных центров Украины и некоторых городов АР Крым.

Также показано, что изменение температуры внутреннего воздуха до 20 °С приводит к повышению расхода сетевой воды от 4,7 % до 8,3 % по сравнению с существующими графиками.

**Ключевые слова:** система теплоснабжения, потребители теплоты, температура, тепловые сети, расход воды.

**Annotation.** It is emphasized that due to increasing of the regulatory temperature of indoor air of residential buildings up to 20 °С is necessary to clarify the temperature graphs of heating networks in district heating.

By the known formulas relevance of water temperature changes in the water supply and rotary lines of heating system from the outside air temperature at  $t = 20$  °С are obtained for the calculating of temperature graphs 150/70, 130/70, 115/70, 105/70, 95/70 °С for all regional Ukraine's centers and some cities in Crimea.

It is stated that the change of internal air temperature to 20 °С leads to increasing of water costs from 4,7% to 8,3% compared with the existing schedule.

**Keywords:** heat supply system, heat consumers, temperature, heat networks, water discharge.

## Вступ

В Україні з 1.04.2007 р. є чинні Державні будівельні норми ДБН В.2.6-31:2006 [1], згідно з якими про проектуванні теплоізоляційної оболонки будинків та споруд поряд з необхідністю забезпечення мінімально допустимого значення опору теплопередачі обгороджень, наприклад, розрахункова температура внутрішнього повітря для житлових, громадських та адміністративних будинків повинна становити  $t_{\text{вн}}^{\text{P}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Звичайно, що для нових будівель потужність системи опалення розраховується на підтримання  $t_{\text{вн}}^{\text{P}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , згідно з цим здійснюється відповідний вибір нагрівальних приладів у приміщеннях.

Забезпечення нормативної температури внутрішнього повітря у приміщеннях, які були споруджені раніше і система опалення в яких розраховувалась за старими нормами на підтримання  $t_{\text{вн}}^{\text{P}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , можна досягти при зменшенні теплових втрат будівлями, тобто за рахунок додаткового утеплення зовнішніх стін та заміні світлопрозорих конструкцій, або при модернізації системи опалення. Але при нинішній ситуації централізовано це зробити неможливо.

## Постановка задачі

Основними елементами системи тепlopостачання є джерело теплової енергії, теплові мережі та споживачі теплоти.

Системи тепlopостачання за потужністю джерела теплової енергії поділяються на системи автономного, децентралізованого, помірно – централізованого і централізованого тепlopостачання [2].

Для забезпечення центрального регулювання теплового навантаження споживачів, тепlopостачання яких здійснюється від ТЕЦ, районних котельень (при централізованому тепlopостачанні) або квартальних котельень (при помірно – централізованому тепlopостачанні), необхідно мати графіки зміни температур води в теплових мережах, зокрема, в залежності від температури зовнішнього повітря.

Наявні графіки розроблялися для різних розрахункових температур води в подавальних та поворотних лініях теплових мереж при постійній температурі внутрішнього повітря житлових будівель  $t_{\text{вн}}^{\text{P}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Нові нормативні документи [1], як відзначалось вище, регламентують цю температуру, як  $t_{\text{вн}}^{\text{P}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , тому метою даної роботи є отримання уточнених температурних графіків теплових мереж систем централізованого та помірно – централізованого тепlopостачання, які б забезпечили нормативні температурні умови в наявних будівлях без заміни нагрівальних приладів систем опалення.

## Результати розрахунків

В [3,4] наведені аналітичні залежності для розрахунку температур води в подавальній ( $t_{\text{под}}$ ) та поворотній ( $t_{\text{пов}}$ ) магістралях теплових мереж для так званого опалювального температурного графіка, після перетворень яких отримаємо

$$t_{\text{под}} = t_{\text{вн}}^{\text{P}} + (A - t_{\text{вн}}^{\text{P}})K_{\text{о.в}}^{0,8} + (t_{\text{под}}^{\text{P}} - A)K_{\text{о.в}}; \quad (1)$$

$$t_{\text{пов}} = t_{\text{вн}}^{\text{P}} + (A - t_{\text{вн}}^{\text{P}})K_{\text{о.в}}^{0,8} - \frac{(t_3^{\text{P}} - t_{\text{пов}}^{\text{P}})}{2}K_{\text{о.в}}; \quad (2)$$

$$K_{\text{о.в}} = \frac{t_{\text{вн}}^{\text{P}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{вн}}^{\text{P}} - t_{\text{р.о}}}; \quad (3)$$

$$A = \frac{t_3^{\text{P}} + t_{\text{пов}}^{\text{P}}}{2};$$

де  $K_{\text{о.в}}$ - коефіцієнт зниження витрати теплоти на опалення та вентиляцію залежно від температури зовнішнього повітря;  $t_{\text{вн}}^{\text{P}}$  - розрахункова температура внутрішнього повітря усередині опалювальних

приміщень, °C;  $t_p^3$  - розрахункова температура води, що надходить в опалювальний прилад, °C;  $t_{пов}^P$  - розрахункова температура води в поворотному трубопроводі теплової мережі, °C;  $t_{p,o}$  - розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення, °C;  $t_n$  - поточна температура зовнішнього повітря, °C;  $t_{под}^P$  - розрахункова температура води в подавальному трубопроводі теплової мережі, °C.

Як приклад, на рис.1 наведені графіки зміни температур води в теплових мережах в залежності від температури зовнішнього повітря для розрахункового температурного графіка  $(t_{под}^P / t_{пов}^P) = (150/70)$  °C, при  $t_{вн}^P = 20$  °C,  $t_{p,o} = -22$  °C (наприклад, для м. Києва),  $t_3^P = 95$  °C.

На цьому ж рисунку наведені ті самі залежності, але для раніше використовуваної температури  $t_{вн}^P = 18$  °C, для тих же параметрів.

Відомо, що температура води в теплових мережах зменшується від  $t_{под}^P$  та  $t_{пов}^P$  при  $t_n = t_{p,o}$  до аналогічних температур при температурі зовнішнього повітря в точці зламу температурного графіка теплової мережі ( $t_{н,зл}$ ), а надалі ці температури залишаються постійними до закінчення опалювального сезону та в літній період при забезпеченні навантаження на гаряче водопостачання (ГВП).

Для визначення  $t_{н,зл}$ , яка при  $t_{вн}^P = 20$  °C дорівнює 5,48 °C, а при  $t_{вн}^P = 18$  °C відповідно 3,84 °C, використали рівняння (3), попередньо визначивши з рівняння (1) величину  $K_{o,v,зл}$ , оскільки температура подавальної води в точці зламу температурного графіка теплової мережі підтримується постійною і дорівнює  $t_{под}^{зл} = 70$ °C. Отримані значення коефіцієнта  $K_{o,v,зл}$  складають 0,3455 при  $t_{вн}^P = 20$  °C і 0,354 при  $t_{вн}^P = 18$ °C.

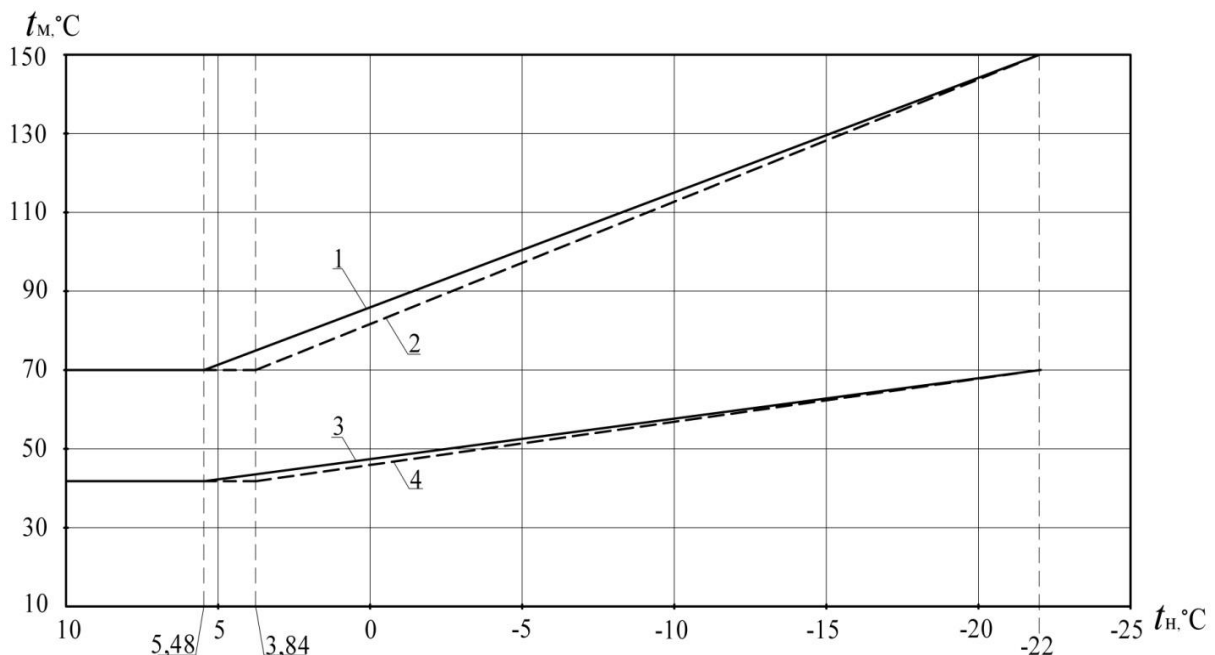


Рисунок 1. Зміна температур води в теплових мережах для розрахункового температурного графіка  $(t_{под}^P / t_{пов}^P) = (150/70)$  °C:

1,3 – подавальний та поворотний трубопроводи при  $t_{вн}^P = 20$  °C;

2,4 – ті ж залежності, але при  $t_{вн}^P = 18$  °C.

Практичний інтерес для оперативного персоналу джерел централізованого тепlopостачання представляють графіки зміни температур води в теплових мережах в залежності від поточних температур зовнішнього повітря та розрахункових температур зовнішнього повітря для проектування опалення, тому за наведеними вище залежностями (1), (2) з урахуванням формули (3), нами були розраховані температурні графіки теплових мереж для найбільш поширених розрахункових температурних графіків теплових мереж : 150/70, 130/70, 115/70, 95/70 °С при розрахунковій температурі внутрішнього повітря 20 °С.

Аналіз кліматологічних даних обласних центрів України та деяких міст АР Крим показує, що температура зовнішнього повітря для проектування опалення ( $t_{p,o}$ ) для них коливається від мінус 25 °С до мінус 16 °С, для міста Севастополь – мінус 11 °С і для м. Ялта – мінус 6 °С, тому температурні графіки теплових мереж в залежності від температури зовнішнього повітря при  $t_{вн.} = 20$  °С розраховували для вказаних температур  $t_{p,o}$  – див.табл.1.

Як приклад, в табл.2 наведений графік зміни температур мережної води для розрахункового температурного графіка 150/70 °С.

Таблиця 1.

Розрахункові температури зовнішнього повітря  $t_{p,o}$ .

Значення $t_{p,o}, ^\circ\text{C}$	Населений пункт
-25	Луганськ
-24	Суми
-23	Дніпропетровськ, Донецьк, Полтава, Харків, Чернігів
-22	Житомир, Запоріжжя, Київ, Кіровоград, Черкаси
-21	Вінниця, Рівне, Тернопіль, Хмельницький
-20	Луцьк, Івано-Франківськ, Миколаїв, Чернівці
-19	Львів, Херсон
-18	Ужгород, Одеса
-17	Джанкой
-16	Євпаторія, Сімферополь
-15	Феодосія
-11	Севастополь
-6	Ялта

### Аналіз отриманих результатів

Оскільки нормативна величина  $t_{вн}^p$  збільшена з 18 °С до 20 °С, то відповідно на 2 °С збільшується розрахункова різниця температур ( $t_{вн}^p - t_{p,o}$ ), що складає 5% і, відповідно, на 5% збільшуються розрахункові втрати теплоти будівлями через зовнішні обгородження (при незмінних інших умовах).

У зв'язку зі збільшенням розрахункових втрат теплоти через зовнішні обгородження при підвищенні  $t_{вн}$  до 20 °С, та зміні температури води в подавальній та поворотній мережах, очевидно, зміниться і масова витрата мережної води.

Зміна витрати мережної води, як приклад, для нового температурного графіка (150/70) °С, %

$$\Delta G = \left( \frac{G_2}{G_1} - 1 \right) 100 \quad (4)$$

Таблиця 2.

Зміна температури води в теплових мережах для розрахункового температурного графіка (150/70) °С ( $K_{o,в.зд} = 0,3455$ )

$t_{p.o},$ °С	$t_{н.зд},$ °С	Значення $t_{под}$ (верхня строка) та $t_{пов}$ (нижня строка), °С, при температурах зовнішнього повітря $t_{н},$ °С							
		$t_{н.зд}$	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
-25	4,5	70	68,5	82,7	96,6	110,2	123,6	136,9	150
		42,4	41,8	47,1	52,1	56,9	61,4	65,8	70
-24	4,8	70	69,4	83,9	98,1	112	125,7	139,3	-
		42,4	42,2	47,6	52,7	57,5	62,1	66,5	-
-23	5,1	70	70,5	85,3	99,7	114	128	141,8	-
		42,4	42,6	48,1	53,2	58,1	62,8	67,4	-
-22	5,5	70	71,5	86,7	101,4	116	130,3	144,4	-
		42,4	43	48,6	53,8	58,8	63,6	68,2	-
-21	5,8	70	72,7	88,1	103,2	118,1	132,7	147,1	-
		42,4	43,4	49,1	54,5	59,5	64,4	69,1	-
-20	6,2	70	73,8	89,6	105,1	120,3	135,2	150	-
		42,4	43,8	49,6	55,1	60,3	65,2	70	-
-19	6,5	70	75,1	91,2	107,1	122,6	137,9	-	-
		42,4	44,3	50,2	55,8	61,1	66,1	-	-
-18	6,9	70	76,4	92,9	109,1	125	140,7	-	-
		42,4	44,8	50,8	56,5	61,9	67	-	-
-17	7,2	70	77,7	94,7	111,3	127,6	143,6	-	-
		42,4	45,3	51,5	57,2	62,7	68	-	-
-16	7,6	70	79,1	96,6	113,6	130,3	146,7	-	-
		42,4	45,8	52,1	58	63,6	69	-	-
-15	7,9	70	80,7	98,5	116	133,1	150	-	-
		42,4	46,4	52,8	58,8	64,5	70	-	-
-11	9,3	70	87,6	107,6	127,1	146,2	-	-	-
		42,4	48,9	56	62,5	68,8	-	-	-
-6	11	70	99,2	122,6	145,5	-	-	-	-
		42,4	53	61,1	68,6	-	-	-	-

де  $G_1$  та  $G_2$  – витрата мережної води, т/год, для наявних ( $t_{BH}^P = 18$  °С) та нових ( $t_{BH}^P = 20$  °С) температурних графіків відповідно.

З урахуванням того, що витрати води  $G_1$  та  $G_2$  залежать від теплоємності води, різниці температур води в подавальній і поворотній

мережі  $\Delta t_1$  та  $\Delta t_2$ , відповідних втрат теплоти обгородженнями  $Q_{\text{втр}1}$  та  $Q_{\text{втр}2}$ , а останні, зокрема, – від температур внутрішнього повітря  $t_{\text{вн}1}^p$  та  $t_{\text{вн}2}^p$  і температури зовнішнього повітря  $t_n$ , то в випадку, коли  $t_n = t_{p.o}$ , величина  $\Delta t_1 = \Delta t_2$ , і при постійній теплоємності води, формула (4) набуде вигляду

$$\Delta G = \left( \frac{t_{\text{вн}2}^p - t_{\text{вн}1}^p}{t_{\text{вн}1}^p - t_{p.o}} \right) 100 \quad (5)$$

Таким чином, як показують розрахунки, для нових температурних графіків теплових мереж при  $t_n = t_{p.o}$ , а також при будь-якому значенні температури зовнішнього повітря в інтервалі від  $t_{p.o}$  до  $t_{n,зп}$  треба збільшити витрату мережної води від 4,7 % (для температурних графіків при  $t_{p.o} = -25$  °С) до 8,3 % (для температурних графіків при  $t_{p.o} = -6$  °С).

#### Висновки

1. В результаті розрахунків для практичного використання були отримані залежності температур води в подавальній та поворотній лініях теплових мереж при розрахункових температурних графіках 150/70, 130/70, 115/70, 105/70, 95/70 °С для розрахункової температури внутрішнього повітря 20 °С.

2. Розрахунками показано, що зміна  $t_{\text{вн}}^p$  до 20 °С призводить до зростання витрат теплоносія у подавальній мережі від 4,7 % (для температурних графіків при  $t_{p.o} = -25$  °С) до 8,3 % (для температурних графіків при  $t_{p.o} = -6$  °С) порівняно з наявними температурними графіками, де нормативне значення температури внутрішнього повітря складало 18 °С.

#### Література

1. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31: 2006. – К.: Мінбуд України, 2006. – 65 с.
2. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі: ДБН В.2.5-39:2008. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 56 с.
3. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для энергетических специальных ВУЗов/ Е. Я. Соколов. – 4-е издание, переработанное. – М.: Энергия, 1975. – 376 с.
4. Бузников Е. Я. Производственные и отопительные котельные/ Е. Ф. Бузников, К. Ф. Роддатис, Э. Я. Берзиньш. – 2-е изд. перераб. – М.: Энерготомиздат, 1984. – 248 с.

В.А. БРЖЕЗИЦКИЙ, С.Ю. ШЕВЧЕНКО, Д.С. КРЫСЕНКО

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ВЫБОРА ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ 6-750 КВ

В.О. БРЖЕЗИЦЬКИЙ, С.Ю. ШЕВЧЕНКО, Д.С. КРИСЕНКО

## ПОРІВНЯННЯ МЕТОДИК ВИБОРУ ОБМЕЖУВАЧІВ ПЕРЕНАПРУГ НЕЛІНІЙНИХ 6-750 КВ

V.A. BRZHEZYTSKYI, S.J. SHEVCHENKO, D.S. KRYSENKO

## COMPARISON OF THE METHODS OF SELECTION OF NON-LINEAR SURGE ARRESTERS 6-750 KV

**Аннотация.** Проведено сравнение методик выбора ограничителей перенапряжений нелинейных 6-750 кВ. Показано, что методики выбора ОПН, в основном, выполнены для двух типов сетей: 6-35 кВ и 110-750 кВ. Сравнение основных требований нормативных документов Украины и других стран по выбору ОПН выполнено по характеристикам: выбор наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ОПН, выбор ОПН по коммутационным и грозовым перенапряжениям, выбор ОПН по