

УДК 697.34

## Параметры тепловой сети при пониженном температурном графике

И.А. Редько<sup>1</sup>, А.А. Редько<sup>2</sup>, А.В. Приймак<sup>3</sup>, Н.Г. Ланцберг<sup>4</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Харьковский национальный университет городского хозяйства им А.Н. Бекетова, г. Харьков, Украина, germes\_s2006@ukr.net, ORCID:0000-0002-9863-4487

<sup>2</sup>д.т.н., проф. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, andrey.ua-mail@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2331-7273

<sup>3</sup>д.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, 02orprymak@gmail.com

<sup>4</sup>к.т.н., доц. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, natan.lanzberg@gmail.com

*Аннотация. В современной экономической ситуации в Украине эксплуатация систем теплоснабжения ведётся при пониженной температуре сетевой воды. Повышенный температурный график 95/70°C из-за высокой стоимости топлива является нецелесообразным. Опыт таких стран как Дания, Германия, Финляндия, Швеция и Голландия с развитым централизованным теплоснабжением указывает на необходимость первоочередного оборудования индивидуального теплового пункта (ИТП) здания системой автоматического регулирования, после чего выполняется переход на технологию с пониженным температурным графиком. Поэтому модернизация систем теплоснабжения Украины, направленная на применение пониженного температурного графика, потребует перехода на закрытые независимые системы отопления, на качественно-количественное регулирование и на автоматизацию систем ИТП потребителей. В настоящей работе приведены результаты численного исследования влияния конструктивных и режимных параметров тепловой сети на выбор оптимальной температуры и расхода сетевой воды системы централизованного теплоснабжения (СЦТ). Определено существенное влияние отопительной характеристики  $k-F$ , Вт/К, здания на параметры СЦТ, определены фактические значения  $k-F$  некоторых жилых домов по данным натурных исследований. Полученные фактические данные ниже расчётных значений  $k-F$ , что требует повышенной температуры теплоносителя в подающем трубопроводе. Снижение температурного графика потребует снижения энергопотребления в жилых домах и административных зданиях.*

*Ключевые слова: тепловая сеть, пониженный температурный график, численное исследование.*

**Введение.** Развитие централизованного теплоснабжения в странах ЕС идёт по пути, позволяющем использовать его преимущества [1, 2, 3]. Теплофикация обеспечивает минимальный расход топлива на производство тепловой и электрической энергии. Крупные источники более подготовлены к использованию низкокалорийных сортов топлива. Их экономичнее оснастить газоочистными установками и обеспечить на них проведение экологических мероприятий. Совместное использование различных источников теплоты для параллельной работы на единые тепловые сети обеспечивает повышение их экономичности. Совместная работа источников позволяет перейти от качественного регулирования отпуска теплоты к качественно-количественному и количественному регулированию с переменным расходом теплоносителя, что обеспечивает сокращение тепловых потерь и улучшенный гидравлический режим системы. Перспективным техническим решением является понижение максимальной температуры сетевой воды. Снижение температуры подаваемой сетевой воды на 1 °C увеличивает выработку электрической энергии на ТЭЦ на 0,1-0,3 %. При этом потери теплоты понижаются на 0,3 %. В

настоящее время технические возможности потребителей позволяют достичь достаточно низкой температуры обратной сетевой воды. Это позволяет увеличить перепад температуры подающего ( $t_{np}$ , °C) и обратного ( $t_{обp}$ , °C) теплоносителя у потребителя  $\Delta t = t_{np} - t_{обp}$ , К, а также понизить расход теплоносителя не увеличивая диаметр трубопроводов тепловой сети. Пониженная температура сетевой воды позволяет применять пластиковые теплоизолированные трубы, что обеспечивает повышение их надёжности.

В настоящее время в условиях модернизации систем централизованного теплоснабжения с целью повышения их энергоэффективности осуществляется внедрение количественного регулирования. Опыт внедрения показывает, что приведённые затраты на 40-50 % меньше, чем при качественном регулировании. Совмещение качественного и количественного регулирования позволяет снизить теплопотребление в переходные периоды отопительного сезона до 50 % [2].

**Состояние проблемы.** Изменение нагрузки в тепловой сети – отключение некоторых промышленных предприятий, переход на децентрализованное теплоснабжение потребителей –

приводит к изменению гидравлических режимов системы централизованного теплоснабжения при качественном регулировании. Во многих городах Украины с целью экономии природного газа системы центрального теплоснабжения эксплуатируются с пониженными параметрами температурного графика. При этом в системе циркулирует завышенное количество теплоносителя. Это является либо нарушением нормативных параметров, либо связано с повышением энергетической и экономической эффективности [1, 4, 5, 6]. Мероприятия, выполняемые при реконструкции зданий и модернизации систем отопления, обеспечивают снижение необходимой тепловой мощности системы теплоснабжения [6, 7, 8]. Но эксплуатация систем централизованного теплоснабжения (СЦТ) с завышенным расходом теплоносителя и недостаточно эффективными системами автоматизации приводит к «перетопам» в жилых домах и административных зданиях, а также значительным потерям теплоты. Поэтому при модернизации СЦТ необходимо обоснование температурного графика для каждой системы теплоснабжения [3, 9, 10, 11, 12].

При существующей системе отопления зданий и графике 95/70 °С обеспечивается разность температуры  $\Delta t = t_{np} - t_{обp} = 20$  К при значении теплотехнической характеристики оборудования системы отопления здания, Вт/К,  $k \cdot F = \text{const}$ . При увеличении расхода теплоносителя и при постоянной тепловой нагрузке потребителя перепад температуры  $\Delta t$ , К, понижается. При понижении тепловой мощности системы отопления потребителя необходимо понизить температуру поверхности отопительных приборов или увеличить значение  $k \cdot F$ , пропорционально снизив перепад температуры  $\Delta t$ , К. Расход теплоносителя при этом увеличивается. В [5] указывается что замена графика 150/70 °С на 95/70 °С приводит к увеличению расхода теплоносителя в три раза и затрат на транспортировку теплоносителя почти в пять раз. Это указывает на нецелесообразность использования пониженного температурного графика. Перечислим факторы, влияющие на выбор оптимальной температуры теплоносителя: расход теплоносителя; затраты на транспорт; пропускная способность трубопроводов (диаметр); тепловые потери (толщина и материал теплоизоляции); «перетопы» зданий при положительной температуре наружного воздуха из-за срезки графика температуры сетевой воды при наличии систем горячего водоснабжения у потребителей. При модернизации СЦТ и изменении зоны и конфигурации системы теплоснабжения, реконструкции и автоматизации

возникает необходимость обоснования теплового графика отпуска теплоты [21].

Результаты [10, 13] указывают на необходимость корректировки температуры сетевой воды в зависимости от тепловой нагрузки, температуры наружного воздуха, времени суток, т.е. создания динамических температурных графиков. Температурные графики должны составляться индивидуально для каждой СЦТ, и только при этом наблюдается системная экономия расхода топлива. В [11] указывается, что понижение температуры сетевой воды после системы отопления, запроектированной на график 95/70 °С, не реально без технической модернизации и финансовых затрат. Снижение температуры прямой сетевой воды при одновременном увеличении её расхода стало возможным вследствие значительного снижения тепловой нагрузки источников и тепловых магистралей. В [14] приведены данные натурных испытаний режимов СЦТ (г. Витебск). Выполнено сравнение энергозатрат при различных температурных графиках отпуска теплоты в межотопительный период. Установлено, что энергопотребление снижается при режиме теплоснабжения 75/55 °С до центрального или индивидуального теплового пункта. Опыт внедрения количественного регулирования показывает, что приведённые затраты на 40-50 % меньше, чем при качественном регулировании.

Технические возможности потребителей позволяют иметь достаточно низкую температуру обратной сетевой воды, что позволяет сохранить или даже увеличить перепад температуры  $\Delta t$ , К. Так, температурный график 130/70 °С может быть заменён на график 100/40 °С при том же расходе сетевой воды [3]. В работе [15] приведены результаты оптимизации параметров пониженного температурного графика при оптимизации затрат на транспорт теплоносителя. Пониженный температурный график возможен за счёт снижения мощности систем вентиляции помещений при расчётном расходе сетевой воды [16]. Показано, что возможно снижение температуры прямой сетевой воды от 150 °С до 115 °С за счёт снижения общей тепловой мощности системы отопления до 0,706 от проектного значения.

Факторы, влияющие на выбор температурного графика: температура наружного воздуха, пропускная способность тепловых сетей, нагрузка на горячее водоснабжение (ГВС), нагрузка на вентиляцию, нагрузка на отопление: потери через ограждающие конструкции и кратность воздухообмена [7, 8, 25]. Нормативные документы, влияющие на выбор температурного

графика: ДБН В.2.2-15:2015, ДСТУ Б EN 12831, ДБН В.2.5-39:2008, ДБН В.2.5-67:2013, ДСТУ Б EN 15251:2011, ДСТУ Б EN ISO 7730.

Кратность воздухообмена согласно ДБН В.2.5 – 67:2013 в Украине составляет 0,5. Для сравнения: в США – 0,35; Германии – 0,5; Англии – 0,4; Швеции – 0,2. Нормативное снижение кратности воздухообмена в 2,4 раза обеспечивает снижение проектной тепловой нагрузки на 30-35 % [4] и позволяет обосновать замену температурного графика 150/70 °С на 115/70 °С. В Дании, Финляндии, Швеции и Норвегии реализуется температурный график в первичном контуре 120 °С/(50-70 °С) [17-20]. Международные стандарты систем централизованного теплоснабжения приведены в табл. 1. Пределы эффективности использования технологии пониженного температурного графика приведены в табл. 2.

Таблица 1

Стандарты температуры теплоносителя (Финляндия)

Контур системы теплоснабжения	Новые здания		Старые здания	
	Отопление	ГВС	Отопление	ГВС
первичный	115/45	70/25	115/65	70/25
вторичный	70/40	55/10	80/60	55/10

Таблица 2

Температурные графики систем централизованного теплоснабжения (Голландия)

Название системы теплоснабжения	Температура, °С, в трубопроводе	
	прямом	обратном
Высокотемпературное	90	70
Среднетемпературное	55	35-40
Низкотемпературное	45	25-35
Сверхнизкотемпературное	35	25

**Методика исследования.** Выбор оптимального расхода теплоносителя зависит от диаметра трубопровода, толщины и свойств тепловой изоляции, а также температуры сетевой воды [22]. Поэтому при определении температуры теплоносителя необходимо учитывать потери энергии при транспорте и тепловые потери в окружающую среду. Электрическая мощность насосов определяется по формуле [23], Вт/м:

$$P_{эл} = \Delta p_{эл} Q / \eta, \quad (1)$$

где  $\Delta p$  – потери давления на метр трубопровода, Па/м,  $Q$  – объёмный расход теплоносителя, м<sup>3</sup>/с;  $\eta$  – КПД насосной установки.

Формулу (1) можно записать в виде, Вт/м:

$$P_{эл} = 0.86 K_э^{0.25} G_m / (\eta_n \eta_э n^2 \rho^2 D_{вн}^{5.25}), \quad (2)$$

где  $K_э$  – эквивалентная шероховатость, м, внутренней поверхности трубопровода (0,5 мм);  $G_m$  – массовый расход теплоносителя, кг/ч;  $\eta_n$  и  $\eta_э$  – КПД насоса и электродвигателя соответственно, принятые равными 0,6;  $\rho$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;  $D_{вн}$  – внутренний диаметр трубопровода, м. Сумма коэффициентов местных сопротивлений принята 0,1.

Потери теплоты (линейная плотность теплового потока), Вт/м, определяются по формуле:

$$q_l = \pi (t_{пр} - t_{окр}) / R_l \quad (3)$$

где  $t_{окр}$  – температура окружающего воздуха, °С;  $R_l$  – линейное термическое сопротивление теплоизолированного трубопровода, м К/Вт:

$$R_l = \ln(D_{из}/D_{тр}) / (2\lambda_{из});$$

$\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляции, Вт/(м·К):  $\lambda_{из} = 0,05$  Вт/(м·К) – для пенополиуретана.

Суммарные удельные потери энергии при неизотермическом транспорте сетевой воды определяются по формуле, Вт/м:

$$P_{\Sigma} = P_{эл} + q_l \quad (4)$$

Массовый расход теплоносителя, кг/с, определяется по формуле:

$$G_m = \frac{Q_{пот}}{2c_p \cdot (t_{пр} - t_{вн} - \frac{Q_{пот}}{K \cdot F})}, \quad (5)$$

где  $Q_{пот}$  – количество теплоты, потребляемое зданием (или зданиями), Вт;  $t_{вн}$  – внутренняя температура помещений, °С;  $c_p$  – теплоёмкость теплоносителя, Дж/(кг·К).

Количество теплоты, потребляемое зданием, определялась по формуле:

$$Q_{пот} = G_m c_p \cdot (t_{пр} - t_{обр}). \quad (6)$$

Теплотехническая характеристика здания рассчитывалась по формуле [15]:

$$k \cdot F = \frac{Q_{\text{пот}}}{\frac{t_{\text{пр}} + t_{\text{обр}}}{2} - t_{\text{вн}}} \quad (7)$$

Затраты на транспорт теплоты определялись с учётом тарифов на электроэнергию и теплоту, которые приняты, соответственно,  $C_{эл} = 1,883$  грн/(кВт·ч) и  $C_q = 1,06$  грн/(кВт·ч). Удельные затраты,  $10^{-3}$  грн/(м·ч):

$$Z_{\Sigma} = P_{эл}C_{эл} + q_l C_q \rightarrow \min. \quad (8)$$

Решение уравнения (8) выполнено с применением математического планирования эксперимента в зависимости от диаметра и толщины тепловой изоляции трубопровода. В результате определялась температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе, а также расход теплоносителя при минимальных удельных потерях энергии для различных значений температуры наружного воздуха (г. Харьков).

#### Анализ результатов.

В работе приведены результаты моделирования системы теплоснабжения, проложенной в подземном канале. Глубина заложения канала – 1 м; поперечное сечение канала – 0,25 м<sup>2</sup>. Коэффициент теплопроводности стенок канала принят 1,3 Вт/(м·К). Определено существенное влияние теплотехнической характеристики на значения температуры сетевой воды в подаваемом трубопроводе. В табл. 3 приведены данные расчёта при различных значениях  $K \cdot F$ . Теплотехническую характеристику зданий и количество потребляемой теплоты определяли так же при проведении натурных измерений (табл. 4).

Удельный расход тепловой энергии на отопление зданий определяется согласно [25] и должен быть меньше нормированного значения, которое определяется для различных типов жилых и общественных зданий. В зависимости от этажности зданий и температурной зоны, значение

$q_h^{reg}$  изменяется от 104 до 56 (кВт·ч)/м<sup>2</sup>. Нормативные значения  $q_h^{reg}$  в Германии составляют 96-40 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). По энергетической эффективности здания классифицируются согласно отклонению в процентах  $q_h^{reg}$  от  $E_{max}$ .

Влияние конструктивных параметров трубопроводов исследовалось с применением метода математического планирования эксперимента. План и матрица вычислительного эксперимента приведены в таблицах 5 и 6. Поверхность  $t_{np} = f(D_{np}, \delta_{из})$  показана на рис. 1.

В результате обработки данных вычислительного эксперимента получены уравнения регрессии. Температура теплоносителя в подающем трубопроводе определяется по формуле:

$$\begin{cases} t_{np} = t_{np}^0 + t_{np}^1 \cdot t_{нар}; \\ t_{np}^0 = 48.198 - 3.318X_1 + \\ + 0.213X_2 - 0.133X_1X_2; \\ t_{np}^1 = -1.28 + 0.079 \cdot X_1. \end{cases} \quad (8)$$

Температура теплоносителя в обратном трубопроводе определяется по формуле:

$$\begin{cases} t_{обр} = t_{обр}^0 + t_{обр}^1 \cdot t_{нар}; \\ t_{обр}^0 = 39.145 + 2.57X_1 - 0.155X_2 + \\ + 0.08X_1X_2; \\ t_{обр}^1 = -1.051 - 0.073 \cdot X_1. \end{cases} \quad (9)$$

Результаты определения расчётной температуры сетевой воды в зависимости от температуры наружного воздуха представлены на рис. 2. Результаты вычислительного эксперимента приведены в табл. 7. Натурные измерения энергетических характеристик жилых домов (г. Харьков), выполнены в 2015-2016 годах. Результаты показали, что их значения превышают нормативные (табл. 8), рекомендуемые ДБН В.2.6 – 31:2006, на 35...75,3 %.

Таблица 3.

Влияние теплотехнической характеристики оборудования системы отопления  $K \cdot F$ , Вт/К, на температуру теплоносителя\*

№	$K \cdot F$ , кВт/К	$t_{np}$ , °С	$t_{обр}$ , °С	$G_m$ , кг/с	$\Delta p$ , Па/м	$P_{эл}$ , Вт/м	$q_l$ , Вт/м	$P_{эл} + q_l$ , Вт/м
1	8	91,5	73,5	6,6	114,5	1,265	38,65	39,9
2	10	79,0	61,0	6,6	114,5	1,265	33,37	34,63
3	12	70,6	52,7	6,6	114,5	1,265	29,80	31,11
4	14	64,7	46,7	6,6	114,5	1,265	27,30	28,60
5	16	60,2	42,3	6,6	114,5	1,265	25,45	26,71
6	18	56,8	38,8	6,6	114,5	1,265	24,0	25,24

\*Наружный и внутренний диаметр трубопровода, соответственно,  $D_{нар} = 108$  мм и  $D_{вн} = 100$  мм; толщина тепловой изоляции из пенополиуретана  $\delta_{из} = 60$  мм; тепловая мощность объекта отопления 500 кВт, температура внутреннего воздуха 20°С, температура наружного воздуха 0°С, разница температуры прямой и обратной воды 18°С, скорость воды 0,84 м/с.

Таблиця 4.

Данные натурных испытаний отопительной системы жилых зданий (г. Харьков, февраль 2017 г.)

Адрес жилого дома	г. Харьков ул. Достоевского, 21	г. Змиев ул. Вишнёвая, 1
Характеристика		
Этажность	9	9
Количество квартир	84	108 (21 отк)
Отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	4013,26	4465,60
Тепловая нагрузка, Гкал/час	0,4197	0,3501
Средняя температура наружного воздуха, °С	-3,8	-3,5
Температура теплоносителя, °С $t_{np}/t_{обp}$	66/46	49/39
Расход теплоносителя, м <sup>3</sup>	5210,26	5537,83
Тепловая мощность, кВт	162,37	94,11
Удельная тепловая мощность, Вт/м <sup>2</sup>	4,05	21,1
Потребление тепловой энергии, Гкал	130,76	74,124
Характеристика отопительной системы, $K \cdot F$ , кВт/К	5,8	4,0

Таблиця 5.

Факторы плана двухфакторного эксперимента

Название фактора	Кодовое обозначение	Уровни фактора		
		-1	0	+1
Диаметр трубопровода $D_{тр}$ , мм	$X_1$	100	200	300
Толщина изоляции, $\delta_{из}$ , мм	$X_2$	40	55	70
<b>Выход</b> – температура теплоносителя, °С	$Y$	–	–	–

Таблиця 6.

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	$X_1$	$X_2$	$Y_i$
1	+	-	$Y_1$
2	-	+	$Y_2$
3	+	+	$Y_3$
4	-	-	$Y_4$
5	+	0	$Y_5$
6	-	0	$Y_6$
7	0	+	$Y_7$
8	0	0	$Y_8$
9	0	-	$Y_9$

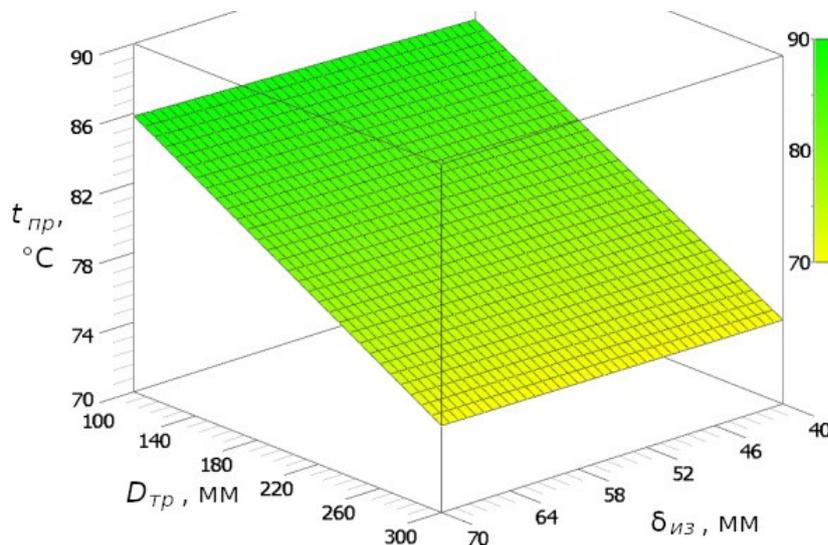


Рис. 1. Поверхность  $t_{np} = f(D_{тр}, \delta_{из})$ , °С

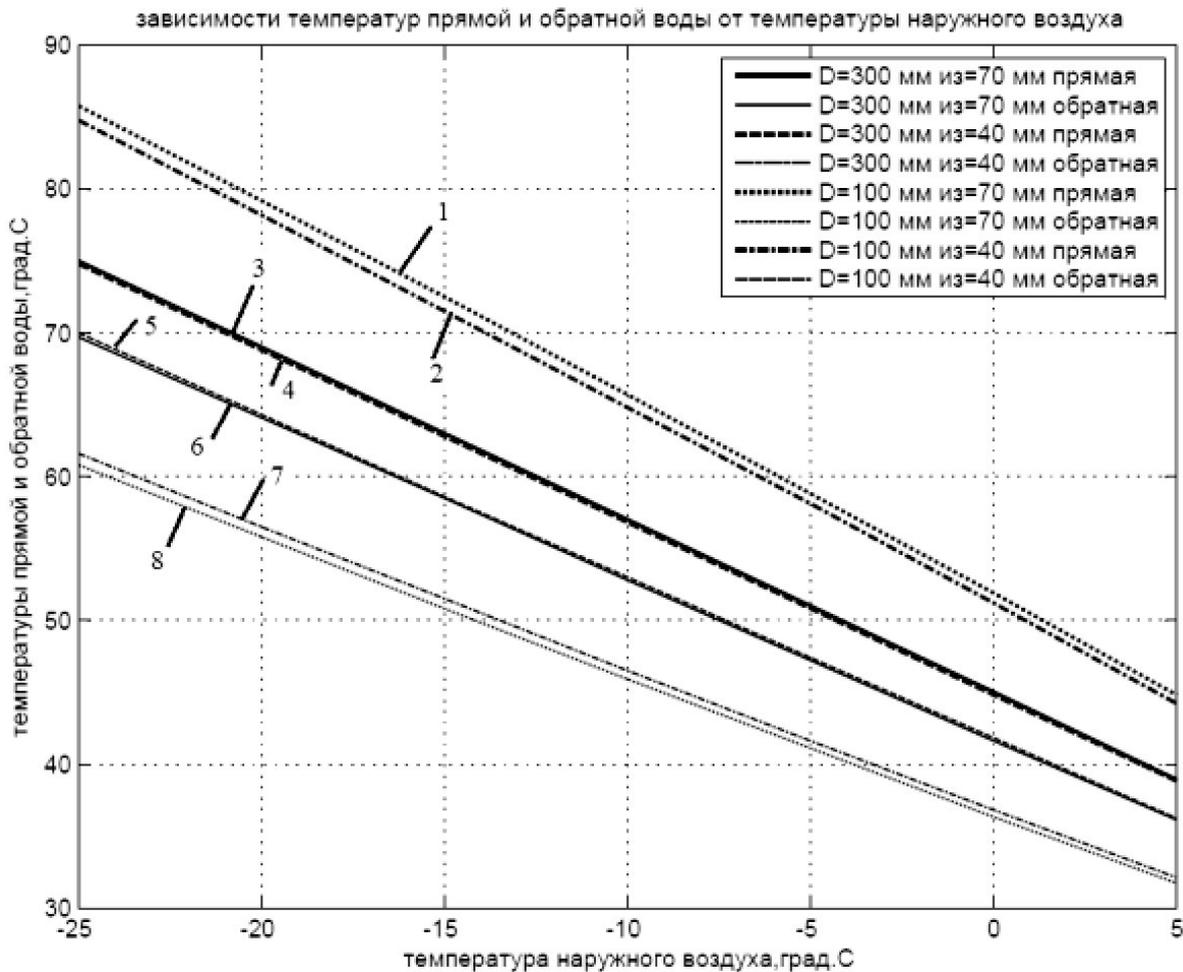


Рис. 2. Зависимость температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха ( $Q_{max} = 600$  кВт;  $K \cdot F = 12$  кВт/К):  
 1 –  $d=100$  мм,  $\delta=70$  мм (прямая вода); 2 –  $d=100$  мм,  $\delta=40$  мм (прямая вода); 3 –  $d=300$  мм,  $\delta=70$  мм (прямая вода);  
 4 –  $d=300$  мм,  $\delta=40$  мм (прямая вода); 5 –  $d=300$  мм,  $\delta=40$  мм (обратная вода); 6 –  $d=300$  мм,  $\delta=70$  мм (обратная вода);  
 7 –  $d=100$  мм,  $\delta=40$  мм (обратная вода); 8 –  $d=100$  мм,  $\delta=70$  мм (обратная вода)

Таким образом, применение пониженного температурного графика в системах теплоснабжения потребует снижения энергопотребления в жилых домах и административных зданиях. На рис. 3 показана зависимость температуры теплоносителя от тепловой нагрузки.

**Выводы.** Определено существенное влияние отопительной характеристики  $K \cdot F$ , Вт/К, здания на параметры СЦТ, определены фактические значения  $K \cdot F$  некоторых жилых домов. Установлено, что фактические данные ниже расчётных значений, что требует повышенной температуры теплоносителя в подающем трубопроводе. Результаты вычислительного эксперимента позволили определить рациональные конструктивные и режимные параметры СЦТ при различных значениях температуры теплоносителя. Результаты численного исследования показывают, что параметры тепловой сети при максимальной тепловой нагрузке и температуре наружного воздуха минус  $25$  °С следующие:

температура сетевой воды в подающем трубопроводе равна  $76,7$  °С; расход теплоносителя  $5,7$  кг/с, скорость  $0,73$  м/с, удельные потери давления  $85,3$  Па/м, удельные потери электрической мощности на транспорт теплоносителя  $0,81$  Вт/м, удельные тепловые потери  $33,8$  Вт/м. Разность температуры в прямом и обратном трубопроводах изменяется от  $26$  °С до  $30$  °С. При изменении тарифа на электроэнергию и теплоту значение температуры прямой воды и массовый расход также изменяются. При пониженной тепловой нагрузке ( $Q = 0,8 Q_{ном}$ ) за счёт снижения кратности воздухообмена до  $0,5$  в системах вентиляции зданий, что приближается к условиям эксплуатации СЦТ стран ЕС ( $t_{обр} = 40$  °С). Температура теплоносителя в подающем трубопроводе равна  $72$  °С, а в обратном  $51,6$  °С. При снижении тепловой нагрузки на  $40$  % температурный график понижается до  $60/42,5$  °С.

Таблиця 7.

Данные вычислительного эксперимента при температуре наружного воздуха  $t_{нар}$ , °С, наружном и внутреннем диаметре трубопровода, мм, соответственно  $D_{нар}$  и  $D_{вн}$

Номер опыта	$t_{нар}$ , °С	$D_{вн}$ , мм	$D_{нар}$ , мм	$\delta_{из}$ , мм	$t_{пр}$ , °С	$t_{обр}$ , °С	$G_m$ , кг/с	$w$ , м/с	$\Delta p$ , Па/м	$P_{эл}$ , Вт/м	$q_t$ , Вт/м
1	-25	300	308	70	75,0	69,7	28,5	0,40	6,6	0,31	66,4
2	-20	300	308	70	69,0	64,1	27,1	0,38	6,0	0,27	59,1
3	-15	300	308	70	63,0	58,5	25,5	0,36	5,3	0,23	51,8
4	-10	300	308	70	57,0	52,8	23,9	0,34	4,6	0,18	44,5
5	-5	300	308	70	51,0	47,2	22,1	0,31	4,0	0,15	37,2
6	0	300	308	70	45,0	41,6	20,1	0,28	3,3	0,11	29,8
7	5	300	308	70	38,9	36,1	17,8	0,25	2,6	0,08	22,5
8	-25	300	308	40	74,8	70,0	31,1	0,44	7,9	0,41	94,3
9	-20	300	308	40	68,8	64,3	29,5	0,42	7,1	0,35	83,9
10	-15	300	308	40	62,8	58,6	27,8	0,39	6,3	0,29	73,5
11	-10	300	308	40	56,8	53,0	26,0	0,37	5,5	0,24	63,2
12	-5	300	308	40	50,8	47,4	24,1	0,34	4,7	0,19	52,8
13	0	300	308	40	44,8	41,8	21,9	0,31	3,9	0,14	42,3
14	5	300	308	40	38,8	36,2	19,4	0,27	3,1	0,10	31,9
15	-25	100	108	70	85,8	60,8	6,0	0,76	92,9	0,92	36,9
16	-20	100	108	70	79,2	55,8	5,7	0,72	84,2	0,80	33,0
17	-15	100	108	70	72,5	50,8	5,4	0,68	75,3	0,67	29,1
18	-10	100	108	70	65,7	45,9	5,0	0,64	66,3	0,56	25,2
19	-5	100	108	70	58,8	41,1	4,7	0,60	57,1	0,45	21,2
20	0	100	108	70	51,9	36,3	4,3	0,54	47,7	0,34	17,2
21	5	100	108	70	44,8	31,7	3,8	0,49	38,0	0,24	13,2
22	-25	100	108	40	84,8	61,6	6,5	0,82	108,6	1,17	50,8
23	-20	100	108	40	78,2	56,5	6,1	0,78	98,4	1,0	45,4
24	-15	100	108	40	71,5	51,5	5,8	0,74	88,0	0,85	40,0
25	-10	100	108	40	64,8	46,5	5,5	0,69	77,4	0,70	34,6
26	-5	100	108	40	58,1	41,6	5,1	0,64	66,6	0,56	29,2
27	0	100	108	40	51,2	36,8	4,6	0,59	55,6	0,43	23,7
28	5	100	108	40	44,2	32,1	4,1	0,52	44,2	0,30	18,1

Таблиця 8.

Энергетические характеристики жилых домов

Этажность жилых домов	Отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	Нормативные значения, кВт/м <sup>2</sup>	Фактические значения, кВт/м <sup>2</sup>
5	3087	89	117
9	7869	73	112,7
16	3656	73	128

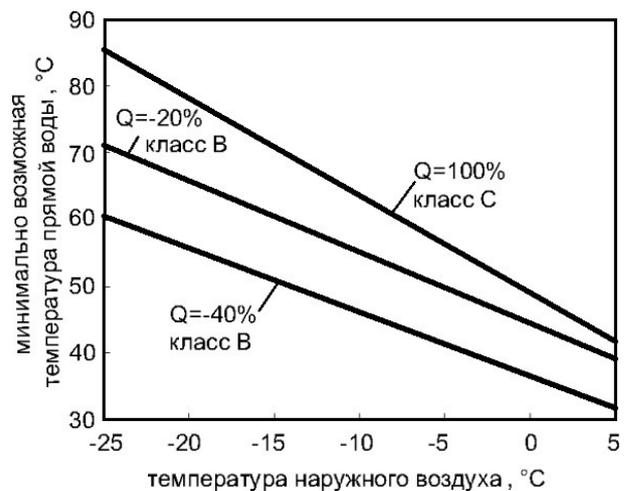


Рис. 3. Температура теплоносителя при различной тепловой нагрузке

## Литература

1. Басок Б. І. Перспективи розвитку сфери теплозабезпечення населених пунктів України / Б.І. Басок, О.М. Недбайло // *Енергоефективність в будівництві та архітектурі: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури.* – 2017. – Вип. 9. – с. 31-37.
2. Шарапов В.И. Регулирование загрузки систем теплоснабжения / В.И. Шарапов, П.В. Ротов. – Москва: Издательство Новости теплоснабжения, 2007. – 164 с.
3. Стенников В. А. Методы комплексного преобразования систем централизованного теплоснабжения в новых экономических условиях: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.14.01 / В. А. Стенников; Сибирское отделение Российской академии наук, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева. – Иркутск, 2002. – 50 с.
4. Сафьянц А. С. Анализ температурного графика работы тепловых сетей г. Киева и предложения по его оптимизации / XXVI міжнародна конференція «Проблеми екології і експлуатації об'єктів енергетики». 20 по 24 вересня 2016 р. в м. Одеса: доповідь. – Режим доступа: <http://engecology.com/konferencii/konferenci%D1%97-2016/>
5. Дорошенко Ж. Ф. О целесообразности использования пониженного графика работы ЦСТ муниципальных систем теплоснабжения [Электронный ресурс] / Ж. Ф. Дорошенко, Г. И. Ковальчук, М. Д. Потапов // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017 р.:* у 4 ч. Ч.ІІІ. – Харків: НТУ ХПИ, 2017. с. 23. – Режим доступа: [http://pim.net.ua/arch\\_f/tez\\_mic\\_17\\_III.pdf](http://pim.net.ua/arch_f/tez_mic_17_III.pdf)
6. Парасочка С. О. До питання температурних графіків відпуску теплової енергії традиційними системами ЦТ [Електронний ресурс] / С. О. Парасочка // ПП НВЦ «Теплокомплект». Режим доступа: <http://www.tescom.com.ua/work/publications/75/tempgraf.pds>.
7. Кувшинов Ю. Я. Основы обеспечения микроклимата зданий / Ю. Я. Кувшинов, О. Д. Самарин. – Москва: Издательство «АСВ», 2012. – 200 с.
8. Самарин О. Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность / О. Д. Самарин. – Москва: Издательство «АСВ», 2011. – 297 с.
9. Шарапов В. И. Технологии обеспечения пиковой нагрузки систем теплоснабжения / В. И. Шарапов, М. Е. Орлов. – Москва: Издательство "Новости теплоснабжения", 2006. – 208 с.
10. Седнин В. А. Оптимизация параметров температурного графика отпуска теплоты в теплофикационных системах / В. А. Седнин, А. В. Седнин, М. Л. Богданович // *Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ - Энергетика: научно-технический и производственный журнал.* – 2009. – № 4. – с. 55-62.
11. Яковлев, Б. В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.14 / Б. В. Яковлев; кол. авт. Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2004. – 40 с.
12. Малая Э. М. Теплоснабжение от тепловых сетей ТЭЦ и (роторных) котельных с оптимизацией параметров / Э. М. Малая. – Саратов: Политехнический Институт, 1983. – 48 с.
13. Седнин В. А. Теория и практика создания автоматизированных систем управления теплоснабжением / В. А. Седнин. – Минск: БНТУ, 2005. – 136 с.
14. Черковский Н. М. Оптимизация температурного графика отпуска тепла в межотопительный период / Н. М. Черковский // *Энергия и менеджмент.* – 2002. – №2. – с. 10-14.
15. Панферов В. И., Гавей О. Ф. Об оптимальном управлении температурой теплоносителя в тепловых сетях / В. И. Панферов, О. Ф. Гавей // *Вестник ЮУрГУ, сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника.* – 2014. – №4. – т. 14. – с. 65-70
16. Петрущенко В. А. Обоснование пониженного температурного графика регулирования центральных систем теплоснабжения / В. А. Петрущенко // *Новости теплоснабжения.* – 2015. – № 8 (180). – с. 30-37.
17. Кролин А. Эффективное теплоснабжение: датский опыт [Электронный ресурс] / А. Кролин // *ЭнергоРынок.* – 2005. – № 4. – Режим доступа: [http://www.e.m.ru/er/2005\\_04/22708/](http://www.e.m.ru/er/2005_04/22708/)
18. Пекка Коури. Централизованное теплоснабжение в Финляндии / Пекка Коури // *Информ. Бюл. ППВ ЖФ.* – 1998. – №5.
19. Гашо Е. Г. О некоторых способах повышения эффективности теплоснабжения: регулирование и автономное отопление / Е. Г. Гашо, В. П. Кожевников // *Новости теплоснабжения.* – 2007. – №2. – с. 17-22.
20. Loppenhien J.K. Temperature Optimization – Horning District Heatind Company has achieved remarkable results / J.K. Loppenhien, P. Jensen // *Holtcool.* – 2008. – №1. – pp. 14-15.
21. Давыдов А.Н. Анализ практики применения пониженных температурных графиков в теплоснабжении в зарубежных странах и оценка перспектив использования в системах теплоснабжения, включающих источники комбинированной выработки электрической и тепловой энергии, режимов с пониженными температурными графиками в целях повышения энергоэффективности и качества предоставляемых услуг по теплоснабжению: Отчет НИР [Электронный ресурс] / А.Н. Давыдов. – Москва. – 2014. – 170 с. – Режим доступа: <http://gokurce.ru/tinybrowser/files/doc/metodika-o-ponizhenii-temperatury.docx>
22. Каганович Б. М. Равновесное термодинамическое моделирование диссипативных макроскопических систем / Б. М. Каганович, А. В. Кейко. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2007. – 76 с.

23. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для ВУЗов / Е. Я. Соколов. – Москва: изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
24. Вагин Н. И. Системы вентиляции жилых помещений многоквартирных домов / Н. И. Вагин, Т. В. Самопляс. – СанктПетербург, 2004. – 66 с.
25. ДБН В.2.6-31-2016. Теплова ізоляція будівель. – Чинні від 01.04.2017. – Київ: Укрархбудінформ, 2017. – 35 с.

#### References

1. Basok B. I., Nedbailo O. M. “Perspektyvy rozvytku sfery teplozabezpechennia naselennykh punktiv v Ukraini.” *Energoeffektivnist v budivnytstvi ta arkhitekturi*, no. 9, 2017, pp. 31-37.
2. Sharapov V. I., Rotov P. V. *Regulirovanie zagruzki sistem teplosnabzheniia*, Izdatelstvo Novosti teplosnabzheniia, 2007.
3. Stennikov V. A. *Metody kompleksnogo preobrazovaniya sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniia v novykh ekonomicheskikh usloviyakh*. Diss. abstract. The L.A. Melentiev Institute of Energy Systems, 2002.
4. Safiants A. S. “Analiz temperaturnogo grafika raboty teplovykh setei g. Kieva i predlozheniia po ego optimizatsii.” *XXVI mizhnarodna konferentsiia «Problemy ekolohii i ekspluatatsii obektiv enerhetyky», 20 - 24 veresnia 2016, m. Odesa: dopovid*, <http://engecology.com/konferencii/konferenci%D1%97-2016/>
5. Doroshenko Zh.F., Kovalchuk G. I., Potapov M. D. “Okazaniye uslug po vnedreniyu i vnedreniyu mikroskhem.” *Informatyvi tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorobia: tezy dopovidei XXV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MicroCAD-2017, 17-19 travnia 2017*, vol. III. pp. 23, [http://pim.net.ua/arch\\_f/tez\\_mic\\_17\\_III.pdf](http://pim.net.ua/arch_f/tez_mic_17_III.pdf)
6. Parasochka S.O. “Do pytannya temperaturnykh grafikiv vidpusku teplovoi energii tradytsiinymy systemamy TST” *PP NVTS «Teplokomplekt»*, <http://www.tecom.com.ua/Work/publications/75/tempgraf.pds>.
7. Kuvshinov Yu.Ya., Samarin O. D. *Osnovy obespecheniia mikroklimata zdanii*. Izdatelstvo «ASV», 2012.
8. Samarin O. D. *Teplofizika. Energoberezhenie. Energoeffektivnost*. Izdatelstvo «ASV», 2011.
9. Sharapov V. I., Orlov M. E. *Tekhnologii obespecheniia pikovoi nagruzki sistem teplosnabzheniia*. Izdatelstvo “Novosti teplosnabzheniia”, 2006.
10. Sednin V. A., Sednin A. V., Bogdanovich M. L. “Optimizatsiya parametrov temperaturnogo grafika otpuska teploty v teplofikatsionnykh sistemakh.” *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh obiedinenii SNG Energetika*, № 4, 2009.
11. Yakovlev B. V. *Povysheniye effektivnosti sistem teplofikatsii i teplosnabzheniia*: Diss. abstract. Belarusian National Technical University, 2004.
12. Malaya E. M. *Teplosnabzhenie ot teplovykh setey TETS i (rotornykh) kotelnykh s optimizatsiei*. Politekhnikheskii Institut, 1983.
13. Sednin V. A. *Teoriya i praktika sozdaniya avtomatizirovannykh sistem upravleniya teplosnabzheniyem*. BNTU, 2005.
14. Cherkovskiy N. M. “Optimizatsiya temperaturnogo grafika otpuska tepla v mezhotopitel'nyy period.” *Energiya i menedzhment*, No.2, 2002.
15. Panferov V. I., Gavei O. F. “Ob optimalnom upravlenii temperaturoi teplonositelia v teplovykh setiakh.” *Vestnik YUURGU, ser. Kompiuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, vol. 14, no. 4, 2014, pp. 65 – 70.
16. Petrushchenkov V. A. “Obosnovanie ponizhennoogo temperaturnogo grafika regulirovaniia tsentralnykh sistem teplosnabzheniia.” *Novosti teplosnabzheniia*, no. 6 (180), 2015.
17. Krolin A. “Effektivnoe teplosnabzheniye: datskii opyt.” *Energorynok*, no. 4, 2005, [http://www.e.m.ru/er/2005\\_04/22708/](http://www.e.m.ru/er/2005_04/22708/).
18. Pekka Kouri. “Tsentralizovannoe teplosnabzhenie v Finlyandii.” *Inform. Byul. PPV ZHF*, no. 5, 1998.
19. Gasho Ye. G., Kozhevnikov V. P. “O nekotorykh sposobakh povysheniia effektivnosti teplosnabzheniia: regulirovaniie i avtonomnoe otoplenie.” *Novosti teplosnabzheniia*, no. 2, 2007.
20. Loppenhien J.K., Jensen P. “Temperature Optimization – Horning District Heatind Company has achieved remarkable results.” *Holtcool*, no. 1, 2008.
21. Davydov A. N. “Analiz praktiki primeneniia ponizhenykh temperaturnykh grafikov v teplosnabzhenii v zarubezhnykh stranakh i otsenka perspektiv ispolzovaniia v sistemakh teplosnabzheniia, vkluchaiushchikh istochniki kombinirovannoi vyrabotki elektricheskoi i teplovoi energii, rezhimov s ponizhennymi temperaturnymi grafikami v tseliakx povysheniia energoeffektivnosti i kachestva predostavliaemykh uslug po teplosnabzheniiu”, <http://gokurce.ru/tinybrowser/files/doc/metodika-o-ponizhenii-temperatury.docx>
22. Kaganovich B. M., Keiko A. V., Shamanskii V. A. *Ravnovesnoe termodinamicheskoe modelirovanie dissipativnykh makroskopicheskikh system*. ISEM SO RAN, 2007.
23. Sokolov E.Ya. *Teplofikatsiia i teplovye seti*. Izdatelstvo MEI, 1999.
24. Vagin N. I., Samoplias T. V. *Sistemy ventilyatsii zhilykh pomeshcheniy mnogokvartirnykh domov*. Sankt-Peterburg, 2004.
25. Teplova isoliatsiia budivel. ДБН В.2.6-31:2016, Укрархбудінформ, 2016.

УДК 697.34

## Параметри теплової мережі при зниженому температурному графіку

І. О. Редько<sup>1</sup>, А. О. Редько<sup>2</sup>, О. В. Приймак<sup>3</sup>, Н. Г. Ланцберг<sup>4</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків, Україна, gemes\_s2006@ukr.net, ORCID:0000-0002-9863-4487

<sup>2</sup>д.т.н., проф. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, andrey.ua-mail@ukr.net ORCID: 0000-0003-2331-7273

<sup>3</sup>д.т.н., проф. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, 02opriymak@gmail.com

<sup>4</sup>к.т.н., доц. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, natan.lanzberg@gmail.com

*Анотація. У сучасній економічній ситуації в Україні експлуатація систем теплопостачання проводиться із низькою температурою мережевої води. Підвищений температурний графік 95/70°C через високу вартість палива є недоцільним. Досвід таких країн як Данія, Німеччина, Фінляндія, Швеція та Голландія з розвиненим централізованим теплопостачанням вказує на необхідність першочергового обладнання індивідуального теплового пункту (ТПП) будівлі системою автоматичного регулювання, після чого виконується перехід на технологію зі зниженим температурним графіком. Тому модернізація систем теплопостачання України, спрямована на застосування зниженого температурного графіка, потребує переходу на закриті незалежні системи опалення, на якісно-кількісне регулювання та автоматизацію систем ТПП споживачів. У даній роботі наведені результати чисельного дослідження впливу конструктивних і режимних параметрів теплової мережі на вибір оптимальної температури і витрати мережевої води системи централізованого теплопостачання (СЦТ). Визначено істотний вплив опалювальної характеристики  $k-F$ , Вт / К, будівлі на параметри СЦТ. Визначені фактичні значення  $k-F$  деяких житлових будинків за даними натурних досліджень. Отримані фактичні дані нижче розрахункових значень  $k-F$ , що вимагає підвищеної температури теплоносія в подавальному трубопроводі. Зниження температурного графіка вимагає зниження енергоспоживання в житлових будинках і адміністративних будівлях.*

*Ключові слова: теплова мережа, знижений температурний графік, чисельне дослідження.*

UDC 697.34

## Parameters of a Heat Supply System at a Lower Temperature Chart

I. Redko<sup>1</sup>, A. Redko<sup>2</sup>, A. Priymak<sup>3</sup>, N. Lantsberg<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD, associate professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov, Ukraine, gemes\_s2006@ukr.net

<sup>2</sup>ScD, professor, Kharkiv National University of Construction and Architecture, Kharkiv, Ukraine, andrey.ua-mail@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2331-7273

<sup>3</sup>Sc.D, professor, Kiev National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, 02opriymak@gmail.com

<sup>4</sup>PhD, associate professor, Kharkiv National University of Construction and Architecture, Kharkiv, Ukraine, natan.lanzberg@gmail.com

*Abstract. In the current Ukrainian economic situation, operation of heat supply systems is under low temperature of the heating-system water. The higher temperature chart of 95/70°C is inexpedient because of high cost of fuel. The experience of such countries as Denmark, Germany, Finland, Sweden, and Holland with developed centralized heat supply proves the necessity of priority equipment of local heat distribution and metering stations (HDMS) of the building with an automatic control system. After that, the technology with a reduced temperature chart should be applied. Therefore, the modernization of heat supply systems in Ukraine aimed to applying the reduced temperature chart will require the transition to closed independent heating systems, to qualitative and quantitative regulation, to automation of HDMS consumers. In the paper, the results of the numerical study of the constructive and operating parameters of influence of a heat supply network on the selection of the optimum temperature and the flow of the heating-system water in a district heating system (DHS) are considered. The significant influence of the heating characteristic  $k-F$  [W / K] of a building on the parameters of the DHS has been determined, the actual values of  $k-F$  of some residential buildings have been determined according to field studies. The obtained actual data is lower than the calculated values of  $k-F$ , which requires increased temperature of the heat carrier in the supply pipeline. Reducing the temperature chart will require a reduction in energy consumption in residential and administrative buildings.*

*Keywords: heat supply, lower temperature chart, numerical study*

Надійшла до редакції / Received 12.12.2017