

УДК 697.34

Оптимизация параметров тепловой сети при пониженном температурном графике

И. А. Редько¹, А. А. Редько², А. В. Приймак³, А. Ф. Редько⁴

¹к.т.н., доц. Харьковский национальный университет городского хозяйства им А.Н. Бекетова, г. Харьков, Украина, germes_s2006@ukr.net, ORCID:0000-0002-9863-4487

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

³д.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, 02opriymak@gmail.com

⁴д.т.н., проф. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, redko.af@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8226-7961

Аннотация. Экономические и экологические проблемы Украины приводят к снижению температуры воды в системах теплоснабжения. Повышение стоимости топлива сделало нецелесообразным температурный график 95/70. Для перехода на пониженный температурный график в первую очередь необходимо обеспечить автоматизацию регулирования индивидуальных тепловых пунктов. Лишь после этого возможно применение сниженных температурных графиков. Это подтверждается успешным опытом стран, где широко используется центральное теплоснабжение: Дания, Германия, Финляндия, Швеция, Голландия и др. Модернизация систем теплоснабжения Украины должна идти путём перехода на независимые системы отопления с качественно-количественным регулированием, после чего температурный график может быть снижен до целесообразных значений. Проведено численное исследование оптимальной температуры и расхода воды в тепловой сети в зависимости от конструктивных и режимных параметров. Также использовались результаты натурных исследований отопительной характеристики жилых домов и административных зданий, теплоснабжение которых осуществляется от двух крупных источников г. Харькова. Численно определено производство энтропии в системе теплоснабжения в зависимости от конструктивных и режимных параметров. В результате вычислительного эксперимента при использовании производства энтропии в качестве критерия оптимизации определены и обоснованы параметры пониженного температурного графика системы теплоснабжения для условий г. Харькова.

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

Введение. Обоснование оптимальных параметров теплового графика системы теплоснабжения производится на основе технико-экономических расчётов. Основными факторами, влияющими на выбор параметров, системы теплоснабжения являются, затраты на строительство теплогенераторов, тепловых сетей и теплопотребляющего оборудования, стоимость топлива и электроэнергии, тепловые потери трубопроводов и энергетические затраты на транспорт теплоносителя. В связи с модернизацией систем теплоснабжения возникает проблема обоснования параметров графика центрального регулирования отпуска тепловой энергии, и перехода от качественного метода регулирования отпуска теплоты к качественно-количественному.

Опыт внедрения показывает, что приведенные затраты на 40-50% меньше, чем при качественном регулировании. Совмещение качественного и количественного регулирования позволяет снизить теплопотребление в переходные периоды отопительного сезона до 50% [1, 2]. В системах теплоснабжения с источником теплоты от ТЭЦ необходимо учитывать

факторы определяющие эффективность работы теплогенерирующих установок.

Состояние проблемы. 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°C не реально без технической модернизации, материалов и финансовых затрат. Снижение температуры прямой сетевой воды при одновременном увеличении ее 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 энергопо-

ребление снижается при режиме теплоснабжения 75/55°C до ЦТП (ИТП). Опыт внедрения количественного регулирования показывает, что приведенные затраты на 40-50% меньше, чем при качественном регулировании.

Технические возможности потребителей позволяют иметь достаточно низкие температуры обратной сетевой воды, что позволяет сохранить или даже увеличить перепад температуры ($t_{np} - t_{обp}$). Так, температурный график 130/70°C может быть заменен на график 100/40°C 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 счет снижения мощности систем вентиляции воздуха помещений при расчетном расходе сетевой воды [16]. Показано, что возможно снижение температуры прямой сетевой воды от 150°C до 115°C за счет 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 ГВС, нагрузка на вентиляцию, нагрузка на отопление: потери через ограждающие конструкции, 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 с ДБН В.2.5 – 67:2013 в Украине 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 °C на 115/70 °C. В странах Дания, Финляндия, Швеция, Норвегия реализуется температурный график в первичном контуре 120 °C/(от 50 °C до 70 °C) [17-21, 30-32]. Международные стандарты систем централизованного теплоснабжения приведены в

таблице 1. Пределы эффективности использования технологии пониженного температурного графика приведены в таблице 2.

Цель работы. Целью работы является оптимизация параметров температурного режима тепловой сети с применением в качестве критериев минимальное производство энтропии в системе и минимальные затраты энергии на транспорт теплоносителя.

Методика исследования. Выбор оптимального расхода теплоносителя зависит от диаметра трубопровода, толщины и свойств тепловой изоляции, температуры сетевой воды [23, 34]. Поэтому при определении температуры теплоносителя необходимо учитывать потери энергии при транспорте и тепловые потери в окружающую среду.

Для изолированной системы теплоснабжения производство энтропии определяется скоростью её изменения:

$$\frac{ds}{dt} = \sum \frac{q_i}{T_i} + \delta, \text{ Вт/К} \quad (1)$$

где q_i , T_i , δ соответственно плотность потока теплоты с температурой T_i , производство энтропии.

Изменение энтропии в системе теплоснабжения, согласно [33]:

$$\Delta S_{\Sigma} = \Delta S_Q + \Delta S_{\Delta p}, \text{ Вт/К}. \quad (2)$$

Изменение энтропии при теплообмене теплоносителя с окружающей средой:

$$\Delta S_Q = q_{\ell} \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T'_w} \right), \text{ Вт/К}, \quad (3)$$

где T_o – температура окружающей среды; T'_w – температура воды в подаваемом трубопроводе; q_{ℓ} – линейная плотность теплового потока.

Изменение энтропии при учёте трения движения теплоносителя:

Стандарты температуры теплоносителя (Финляндия)

Система теплоснабжения	Новые здания		Старые здания	
	Отопление	ГВС	Отопление	ГВС
Первичный контур	115/45	70/25	115/65	70/25
Вторичный контур	70/40	55/10	80/60	55/10

Таблица 1

Температурные графики систем централизованного теплоснабжения (Голландия) Нидерланды

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

$$\Delta S_{\Delta p} = m_b \Delta p / (\delta_b \cdot T'_w) \quad (4)$$

Оптимизация параметров тепловой сети выполнялась по целевым функциям с учётом стоимости электроэнергии и теплоты:

$$P_{\Sigma} = P_{эл} C_{эл} + q_{\ell} C_q \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$\Delta S_{\Sigma} = \Delta S_{\Delta p} C_{эл} + \Delta S_Q C_q \rightarrow \min. \quad (6)$$

Решение уравнений (5) и (6) выполняли с применением математического планирования эксперимента в зависимости от следующих факторов: диаметра и толщины тепловой изоляции трубопровода. В результате решения задачи определяли температуру теплоносителя в падающем и обратном трубопроводе, 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 м². 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 теплового и гидравлического режимов при различных значениях КФ. Отмечено, что пониженные параметры системы теплоснабжения, обеспечиваются при увеличении значения отопительной характеристики (КФ).

Расчётные данные, приведенные в табл. 3, указывают, что пониженный температурный

график может быть применён при высоком значении дополнительной характеристики (КФ = 10-14) и постоянном расходе теплоносителя m_b . Фактические данные, приведенные в табл. 4, указывают, что значение КФ для жилых домов составляет 4 – 5,8 кВт/к. При этом в жилых домах обеспечиваются комфортные условия.

Значение отопительной характеристики (КФ) определялось также по данным натурных измерений для двух источников теплоснабжения г. Харькова: филиал КП «Харьковские тепловые сети. ТЭЦ – 3», вырабатывающий 1353 Гкал/час и ПАО «ТЭЦ – 5», вырабатывающий 1420 Гкал/час. Установленная мощность ТЭЦ-5 составляет 540 МВт, ТЭЦ-3 – 86 МВт. Суммарная вырабатываемая мощность двух источников составляет более 50 % потребляемой теплоты для города с населением свыше 1,5 млн. жителей.

Результаты измерений для ТЭЦ-3 и ТЭЦ-5 приведены на рис. 1 и 2. Измерения показывают, что значения отопительной характеристики составляет (4,4 – 5,2 кВт/к).

Зависимость производства энтропии в системе теплоснабжения от конструктивных параметров (диаметр трубопровода и толщина тепловой изоляции) и параметры теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах показаны на рис. 3 и 4.

На рис. 5 показана зависимость температуры теплоносителя от тепловой нагрузки.

Натурные измерения энергетических характеристик жилых домов (г. Харьков), выполнены в 2015-2016 годах. Результаты показали, что их значения превышают нормативные (табл. 4), рекомендуемые ДБН В.2.6 – 31:2016, на 35 – 75.3%.

Таким образом, применение пониженного температурного графика в системах теплоснабжения потребует снижения энергопотребления

в жилых домах и административных зданиях.

Выводы. 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 (-25°C) следующие: температура сетевой воды в подающем трубопроводе равна 76,7°C; расход теплоносителя 5,7 кг/с, скорость 0,73 м/с, удельные потери давления 85,3 Па/м, удельные потери элек-

трической мощности на транспорт теплоносителя 0,81 Вт/м, удельные тепловые потери 33,8 Вт/м.

Перспективы дальнейших исследований.

На теперешний час в связи со стремительным ростом и развитием городов, строительством жилищных комплексов, возникает необходимость в усовершенствовании систем теплоснабжения, модернизации и автоматизации оборудования индивидуальных тепловых пунктов, что и определяет актуальность и перспективность дальнейших исследований.

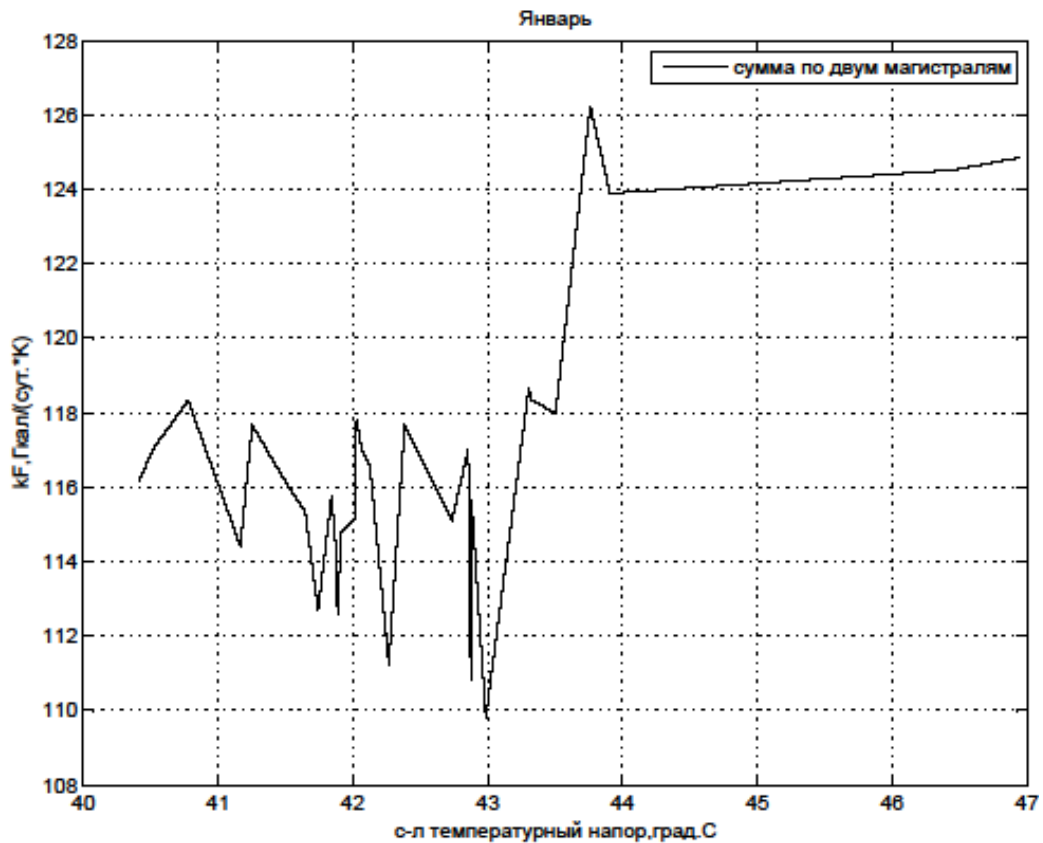


Рис. 1. Значение отопительной характеристики для источника теплоснабжения ТЭЦ – 5 при среднелогарифмическом (с-л) температурном напоре

$$\Delta t = (t_{np} - t_{обр}) / \ln((t_{np} - t_o) / (t_{обр} - t_o))$$

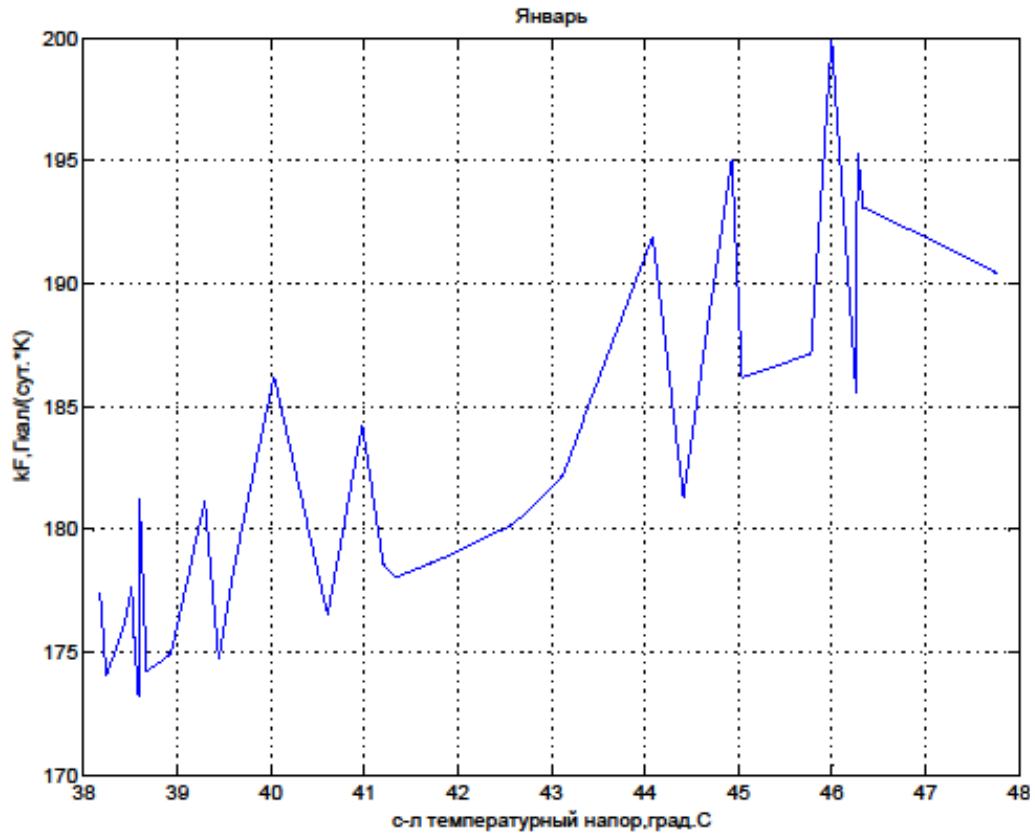


Рис. 2. Значение отопительной характеристики для источника теплоснабжения ТЭЦ – 3.

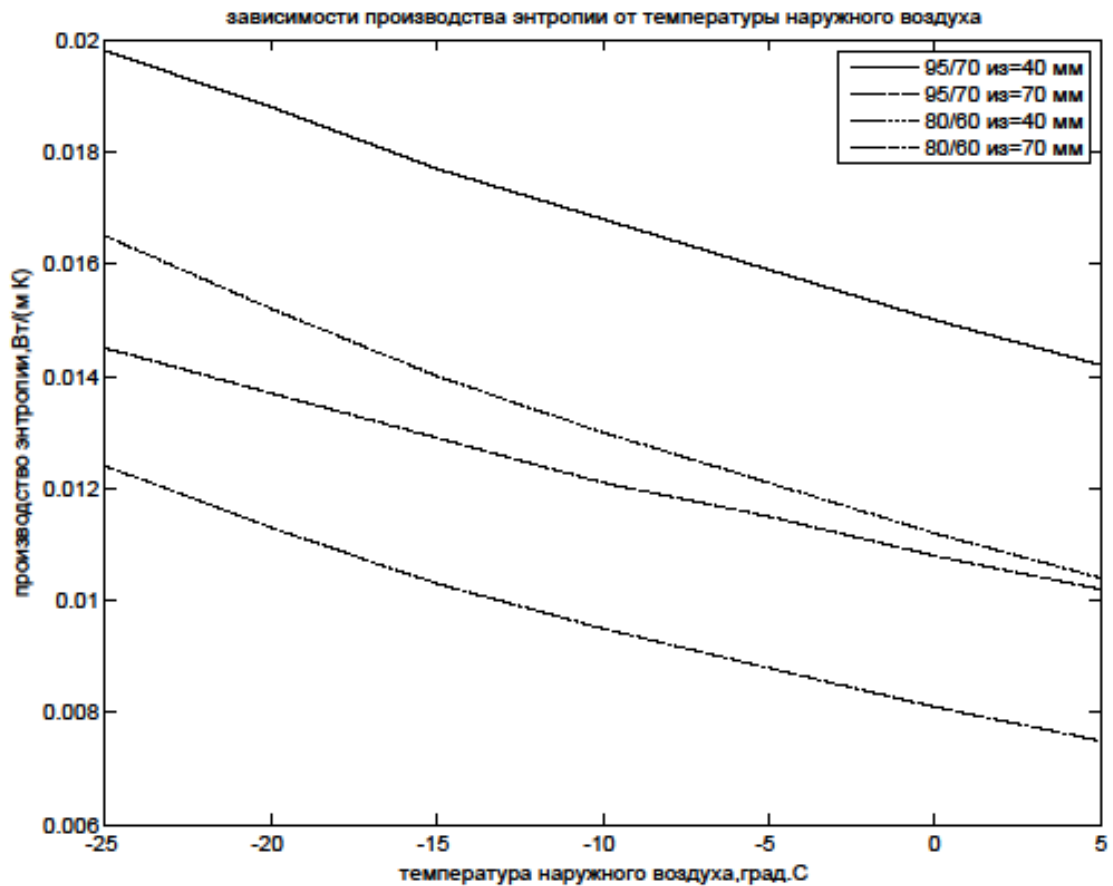


Рис. 3. Зависимости производства энтропии от температуры наружного воздуха и температуры теплоносителя.

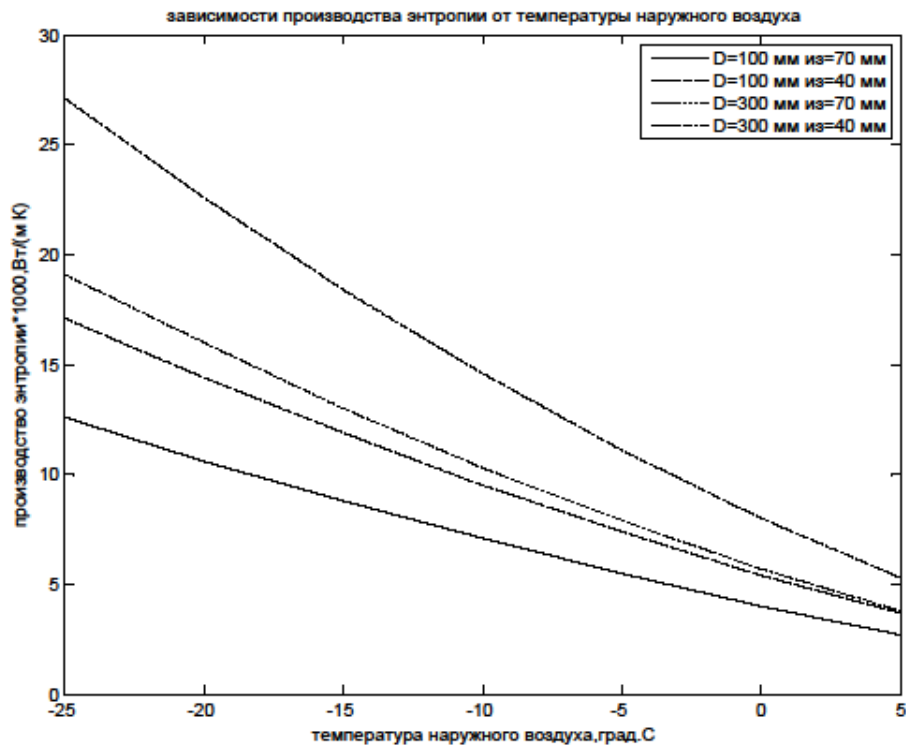


Рис. 4. Зависимости производства энтропии от температуры наружного воздуха и конструктивных параметров.

Таблица 3

Результаты численного эксперимента

№ опыта	$t_{нар}, °C$	$D_{вн}, мм$	$D_{нар}, мм$	$\delta_{из}, мм$	$t_{пр}, °C$	$t_{обр}, °C$	$G_m, кг/с$	$w, м/с$	$\Delta p, Па/м$	$P_{эл}, Вт/м$	$q_{\ell}, Вт/м$	$\Delta S_1 \cdot 10^3, Вт/(м \cdot K)$	$\Delta S_2 \cdot 10^3, Вт/(м \cdot K)$	$\Delta S_e = (c w \Delta S_1 + c q \Delta S_2) \cdot 10^3, Вт/(м \cdot K)$
1	-25	300	308	70	75,0	69,7	28,5	0,40	6,6	0,31	66,4	0,54	52,3	19,1
2	-20	300	308	70	69,0	64,1	27,1	0,38	6,0	0,27	59,1	0,47	43,6	16,0
3	-15	300	308	70	63,0	58,5	25,5	0,36	5,3	0,23	51,8	0,40	35,5	13,0
4	-10	300	308	70	57,0	52,8	23,9	0,34	4,6	0,18	44,5	0,33	28,1	10,3
5	-5	300	308	70	51,0	47,2	22,1	0,31	4,0	0,15	37,2	0,27	21,4	7,9
6	0	300	308	70	45,0	41,6	20,1	0,28	3,3	0,11	29,8	0,21	15,4	5,7
7	5	300	308	70	38,9	36,1	17,8	0,25	2,6	0,08	22,5	0,15	10,3	3,8
8	-25	300	308	40	74,8	70,0	31,1	0,44	7,9	0,41	94,3	0,70	74,2	27,1
9	-20	300	308	40	68,8	64,3	29,5	0,42	7,1	0,35	83,9	0,60	61,8	22,6
10	-15	300	308	40	62,8	58,6	27,8	0,39	6,3	0,29	73,5	0,52	50,3	18,4
11	-10	300	308	40	56,8	53,0	26,0	0,37	5,5	0,24	63,2	0,44	39,8	14,6
12	-5	300	308	40	50,8	47,4	24,1	0,34	4,7	0,19	52,8	0,35	30,3	11,1
13	0	300	308	40	44,8	41,8	21,9	0,31	3,9	0,14	42,3	0,27	21,8	8,0
14	5	300	308	40	38,8	36,2	19,4	0,27	3,1	0,10	31,9	0,19	14,5	5,3
15	-25	100	108	70	85,8	60,8	6,0	0,76	92,9	0,92	36,9	1,5	32,3	12,6
16	-20	100	108	70	79,2	55,8	5,7	0,72	84,2	0,80	33,0	1,4	27,1	10,6
17	-15	100	108	70	72,5	50,8	5,4	0,68	75,3	0,67	29,1	1,2	22,3	8,8
18	-10	100	108	70	65,7	45,9	5,0	0,64	66,3	0,56	25,2	1,0	17,9	7,1
19	-5	100	108	70	58,8	41,1	4,7	0,60	57,1	0,45	21,2	0,8	13,8	5,5
20	0	100	108	70	51,9	36,3	4,3	0,54	47,7	0,34	17,2	0,6	10,1	4,0
21	5	100	108	70	44,8	31,7	3,8	0,49	38,0	0,24	13,2	0,5	6,8	2,7
22	-25	100	108	40	84,8	61,6	6,5	0,82	108,6	1,17	50,8	2,0	44,0	17,1
23	-20	100	108	40	78,2	56,5	6,1	0,78	98,4	1,0	45,4	1,7	37,0	14,4
24	-15	100	108	40	71,5	51,5	5,8	0,74	88,0	0,85	40,0	1,5	30,4	11,9
25	-10	100	108	40	64,8	46,5	5,5	0,69	77,4	0,70	34,6	1,2	24,3	9,5
26	-5	100	108	40	58,1	41,6	5,1	0,64	66,6	0,56	29,2	1,0	18,7	7,4
27	0	100	108	40	51,2	36,8	4,6	0,59	55,6	0,43	23,7	0,8	13,7	5,4
28	5	100	108	40	44,2	32,1	4,1	0,52	44,2	0,30	18,1	0,6	9,2	3,7

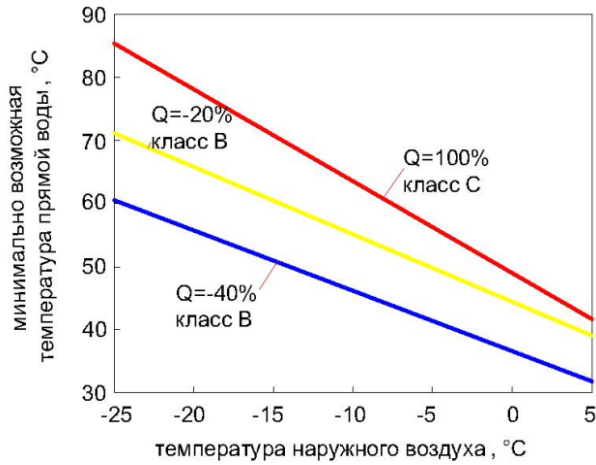


Рис. 5. Температура теплоносителя при різній тепловій навантаженні

Таблиця 4.

Енергетичні характеристики житлових будинків

Етажність житлових будинків/отапливана площа, м ²	Нормативні значення, кВт/м ²	Фактичні значення, кВт/м ²
5-ти ет. жилой дом/ 3087	89	117
9-ти ет. жилой дом/ 7869	73	112.7
16-ти ет. жилой дом/ 3656	73	128

Література

- 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 та архітектури. – 2017. – Вип. 9. – с. 31-37.
- Шарапов В. И. Регулирование загрузки систем теплоснабжения / В. И. Шарапов, П. В. Ротов. – Москва: Издательство "Новости теплоснабжения", 2007. – 164 с.
- 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.
- 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/>
- Дорошенко Ж. Ф. О целесообразности использования пониженного графика работы ЦСТ муниципальных систем теплоснабжения [Электронный ресурс] / Ж. Ф. Дорошенко, Г. И. Ковальчук, М. Д. Потапов // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: тезисы докладов XXV международной научно-практической конференции MicroCAD-2017, 17-19 мая 2017 г.: в 4 ч. Ч. III. – Харьков: НТУ ХПИ, 2017. с. 23. – Режим доступа: http://pim.net.ua/arch_f/tez_mic_17_III.pdf
- 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.tecom.com.ua/work/publications/75/tempgraf.pds>.
- Кувшинов Ю. Я. Основы обеспечения микроклимата зданий / Ю. Я. Кувшинов, О. Д. Самарин. – Москва: Издательство «АСВ», 2012. – 200 с.
- Самарин О. Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность / О. Д. Самарин. – Москва: Издательство «АСВ», 2011. – 297 с.
- Шарапов В. И. Технологии обеспечения пиковых нагрузок систем теплоснабжения / В. И. Шарапов, М. Е. Орлов. – Москва: Издательство "Новости теплоснабжения", 2006. – 208 с.
- 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.
- 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.
- Малая Э. М. Теплоснабжение от тепловых сетей ТЭЦ и (роторных) котельных с оптимизацией параметров / Э. М. Малая. – Саратов: Политехнический Институт, 1983. – 48 с.
- Седнин В. А. Теория и практика создания автоматизированных систем управления теплоснабжением / В. А. Седнин. – Минск: БНТУ, 2005. – 136 с.
- 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/>
18. Рыкалов В. Централизованное теплоснабжение в Дании и Германии. Режим доступа, [электронный ресурс]: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id
19. Пекка Коури. Централизованное теплоснабжение в Финляндии / Пекка Коури // Информ. Бюл. ППВ ЖФ. – 1998. – №5.
20. 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.
21. Loppenhien J.K. Temperature Optimization – Horning District Heating Company has achieved remarkable results / J.K. Loppenhien, P. Jensen // *Holtcool*. – 2008. – №1. – pp. 14-15.
22. 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>
23. Каганович Б. М. Равновесное термодинамическое моделирование диссипативных макроскопических систем / Б. М. Каганович, А. В. Кейко. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2007. – 76 с.
24. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для ВУЗов / Е.Я. Соколов // изд-во МЭИ, 1999. – 472 с.
25. Вагин Н. И. Системы вентиляции жилых помещений многоквартирных домов / Н. И. Вагин, Т. В. Самопляс. – СанктПетербург, 2004. – 66 с.
26. Лобатовкина Е.Г., Серов А.Д., Методика расчёта теплотехнических и энергетических параметров здания и заполнение формы энергетического паспорта / Е.Г. Лобатовкина, А.Д. Серов // М. МГСУ, 2015. – 57 с.
27. Матросов Ю. А. Новые государственные нормы Украины «Тепловая изоляция зданий» / Ю. А. Матросов, Г. Г. Фаренюк // *Жилищное строительство*. – 2007. – №11. – с 8-12.
28. ДБН В.2.6-31-2016. Теплова ізоляція будівель. – Чинні від 01.04.2017. – Київ: Укрархбудінформ, 2017. – 35 с.
29. Зингер Н. И. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. – Москва: Энергоатом, 1986. – 320с.
30. 4-th Generation District Heating (4GDH) Integrating Smart Thermal grids into Future sustainable energy systems / Henrik Lund, Sven Werner, Robin Wiltshire, Svend Svendsen, Jan Eric Thorsen, Frede Hvelplund, Brian Vad Mathiesen // *Energy*. – 2014. – no. 68. – pp. 1-11.
31. Connolly D. Heat Roadmap Europe: second pre-study for the EU27 / D. Connolly, B. V. Mathiesen, P. A. Ostergaard, B. Möller, S. Nielsen, H. Lund, ... D. Trier. – 2013. – 236 p.
32. Пузаков В. С. Теплоснабжение по-европейски / В. С. Пузаков // *Новости теплоснабжения*. – 2008. – №8(96). – С. 18-23.
33. Bejan A. Entropy Generation Minimization / A. Bejan. – CRC Press, 1996. – 362 p.
34. Параметры тепловой сети при пониженном температурном графике // Редько И. А., Редько А. А., Приймак А. В., Ланцберг Н. Г. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. – 2018. – вип. 24. – с. 42-51.

References

1. Basok B. I., Nedbailo O. M. “Perspektyvy rozvytku sfery teplozabezpechennia naselennykh punktiv v Ukraini.” *Energoyefektivnist v budivnytstvi ta arkhitekturi*, no. 9, 2017, pp. 31-37.
2. Sharapov V. I., Rotov P. V. *Regulirovanie zagruzki sistem teplosnabzheniia*, Izdatelstvo Novosti teplosnabzheniya, 2007.
3. Stennikov V. A. *Metody kompleksnogo preobrazovaniya sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya 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 mikro-skhem.” *Informatyvni tekhnolohii: 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

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 zdaniy*. 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 obedinenii SNG Energetika*, № 4, 2009.
11. Yakovlev B. V. *Povysheniye effektivnosti sistem teplofikatsii i teplosnabzheniya*: Diss. abstract. Belarusian National Technical University, 2004.
12. Malaya E. M. *Teplosnabzhenie ot teplovykh setey TETS i (rotornykh) kotelnykh s optimizatsiei*. Politekhnikeskii 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 teplonositel'ia v teplovykh setiakh." *Vestnik YUUrGU, ser. Kompiuternyye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, vol. 14, no. 4, 2014, pp. 65 – 70.
16. Petrushchenkov V. A. "Obosnovanie ponizhennogo temperaturnogo grafika regulirovaniia tsentralnykh sistem teplosnabzheniia." *Novosti teplosnabzheniya*, no. 6 (180), 2015.
17. Krolin A. "Effektivnoe teplosnabzheniye: datskii opyt." *Energorynok*, no. 4, 2005, http://www.e.m.ru/er/2005_04/22708/.
18. Rykalov V. Tsentralizovannoe teplosnabzheniye v Danyy y Hermanyy. Rezhym dostupa, [elektronnyy resurs]: <http://sintur.ru/stat/453/>.
19. Pekka Kouri. "Tsentralizovannoe teplosnabzhenie v Finlyandii." *Inform. Byul. PPV ZHF*, no. 5, 1998.
20. Gasho Ye. G., Kozhevnikov V. P. "O nekotorykh sposobakh povysheniia effektivnosti teplosnabzheniia: regulirovaniie i avtonomnoe otoplenie." *Novosti teplosnabzheniia*, no. 2, 2007.
21. Loppenhien J.K., Jensen P. "Temperature Optimization – Horning Dictrict Heatind Company has achieved remarkable results." *Holtcool*, no. 1, 2008.
22. Davydov A. N. "Analiz praktiki primeneniia ponizhennykh 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 tseliakh povysheniia energoeffektivnosti i kachestva predostavliaemykh uslug po teplosnabzheniiu", <http://gokurce.ru/tinybrowser/files/doc/metodika-o-ponizhenii-temperatury.docx>
23. Kaganovich B. M., Keiko A. V., Shamanskii V. A. *Ravnovesnoe termodinamicheskoe modelirovanie dissipativnykh makroskopicheskikh system*. ISEM SO RAN, 2007.
24. Sokolov E.Ya. *Teplofikatsiia i teplovye seti*. Izdatelstvo MEI, 1999.
25. Vagin N. I., Samoplias T. V. *Sistemy ventilyatsii zhilykh pomeshcheniy mnogokvartirnykh domov*. Sankt-Peterburg, 2004.
26. Lobatovkina E. G., Serov A. D. *Metodyka rascheta teplotekhnicheskyykh y enerhetycheskykh parametrov zdaniya y zapolnenye formy enerhetycheskogo pasporta*, MHSU, 2015.
27. Matrosov Yu. A., Farenjuk H. H. "Novye gosudarstvennyye normy Ukrainy «Teplovaya yzolyatsyya zdaniy»", *Zhylyshchnoe stroytelstvo*, no. 11, 2007.
28. Teplova isoliatsiia budivel. DBN V.2.6-31:2016, Ukrarhbudinform, 2016.
29. Zynger N. Y. *Gydravlycheskiye y teplovye rezhimy teplofykatsyonnykh system*. Energoatom, 1986.
30. Henrik Lund, Sven Werner, Robin Wiltshire, Svend Svendsen, Jan Eric Thorsen, Frede Hvelplund, Brian Vad Mathiesen. "4-th Generation District Heating (4GDH) Integrating Smart Thermal grids into Future sustainable energy systems." *Energy*, no. 68, 2014.
31. D. Connolly, B. V. Mathiesen, P. A. Ostergaard, B. Möller, S. Nielsen, H. Lund, ... D. Trier. *Heat Roadmap Europe: second pre-study for the EU27*, 2013.
32. Puzakov V. S. "Teplosnabzheniye po-evropeysky." *Novosti teplosnabzheniya*, no. 8(96), 2008
33. Bejan A. *Entropy Generation Minimization*, CRC Press, 1996.
34. Redko I., Redko A., Priymak A., Lantsberg N. "Parametry teplovoi seti pri ponizennom temperaturnom drafike." *Ventilyatsiia, osvittennia ta teplohozopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 24, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2018, pp. 42-51.

УДК 697.34

Оптимізація параметрів теплової мережі при зниженому температурному графіку

І. О. Редько¹, А. О. Редько², О. В. Приймак³, О. Ф. Редько⁴

¹к.т.н., доц. Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, germes_s2006@ukr.net, ORCID:0000-0002-9863-4487

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

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

⁴д.т.н., проф. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, redko.af@gmail.com,
ORCID: 0000-0001-8226-7961

Анотація. Економічні та екологічні проблеми України призводять до зниження температури води в системах теплопостачання. Підвищення вартості палива зробило недоцільним температурний графік 95/70 °С. Для переходу на знижений температурний графік є першу чергу необхідно забезпечити автоматизацію регулювання індивідуальних теплових пунктів. Лише після цього можливе застосування знижених температурних графіків. Це підтверджується успішним досвідом країн, де широко використовується центральне теплопостачання: Данія, Німеччина, Фінляндія, Швеція, Голландія та ін. Модернізація систем теплопостачання України повинна йти шляхом переходу на незалежні системи опалення з якісно-кількісним регулюванням, після чого температурний графік може бути знижений до доцільних значень. Проведено чисельне дослідження оптимальної температури і витрати води в тепловій мережі залежності від конструктивних і режимних параметрів. Також використовувалися результати натурних досліджень опалювальної характеристики житлових будинків і адміністративних будівель, теплопостачання яких здійснюється від двох великих джерел м. Харкова. Чисельно визначено виробництво ентропії в системі теплопостачання залежно від конструктивних і режимних параметрів. У результаті обчислювального експерименту при використанні виробництва ентропії як критерія оптимізації визначено й обґрунтовано параметри зниженого температурного графіка системи теплопостачання для умов м. Харкова.

Ключові слова: тепла мережа, знижений температурний графік, чисельне дослідження, оптимізація.

UDC 697.34

Optimization of the Parameters of the Heat Network Under a Reduced Temperature Schedule

I. Redko¹, A. Redko², A. Priymak³, A. Redko⁴

¹PhD, associate professor, O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov, Ukraine, germes_s2006@ukr.net

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

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

⁴ScD, professor, Kharkiv National University of Construction and Architecture, Kharkiv, Ukraine, redko.af@gmail.com,
ORCID: 0000-0001-8226-7961

Abstract. The economic and environmental problems of Ukraine lead to decrease the water temperature in heat supply systems. Increasing the cost of fuel made it inappropriate to schedule temperature 95/70. To switch to a lower temperature schedule, at first it is necessary to ensure the automation of the regulation of individual heat points. Only after that it is possible to use reduced temperature schedules. This is confirmed by the successful experience of countries where central heating is widely used: Denmark, Germany, Finland, Sweden, Holland, etc. Modernization of the heat supply systems of Ukraine should go through transition to independent heating systems with qualitative and quantitative regulation, after which the temperature schedule can be reduced to appropriate values. A numerical study of the optimal temperature and water flow in the heat network depending on the design and operating parameters has been carried out. In addition, the results of field studies of the heating characteristics of residential buildings and administrative buildings, the heat supply of which is carried out from two big sources of Kharkov, were used. The entropy production in the heat supply system is numerically determined depending on the design and operating parameters. As a result of the computational experiment, when using entropy production as an optimization criterion, the parameters of the reduced temperature schedule of the heat supply system for the conditions of Kharkiv were determined and substantiated. The results of the numerical study show that the parameters of the heat network at maximum heat load and outdoor air temperature (-25 °C) are as follows: the temperature of the supply network water is 76.7 °C; heat carrier flow rate is 5.7 kg/s, velocity is 0.73 m/s, specific pressure loss is 85.3 Pa/m, specific consumption of electric power to transport the heat carrier is 0.81 W/m, specific heat loss is 33.8 W/m.

Key words: heat system, the lower temperature chart, the numerical study, optimization.

Надійшла до редакції / Received 14.09.2018.