

Енергосберегаючі технології

УДК 621.36:66.096.5

DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.2.2019.03>

Нікітін Є.Є., докт. техн. наук, Дутка О.В.

Інститут газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: adutka@ukr.net

Комплексний підхід до модернізації теплових джерел, теплових мереж та приєднаних до них будівель

Розроблено математичну модель, яка дає можливість виконати порівняльний аналіз техніко-економічних характеристик трьох сценаріїв модернізації системи теплопостачання теплового району: заміна котлів, теплових мереж та насосів зі збереженням існуючих приєднаних навантажень; заміна цих елементів у поєднанні з термомодернізацією будівель; сценарій, який передбачає виконання усіх попередніх заходів та встановлення індивідуальних теплових пунктів у будівлях (комплексна модернізація). Показано переваги комплексного підходу до модернізації на горизонті планування 50 років. Виконано розрахунковий аналіз впливу різних факторів на перевагу цього сценарію. Розроблена модель може бути використана для підготовки техніко-економічних обґрунтувань проектів енергоефективної модернізації систем централізованого теплопостачання та будівель. *Бібл. 5, рис. 8, табл. 2.*

Ключові слова: система теплопостачання, модернізація, комплексний підхід, теплові джерела, теплові мережі, термомодернізація будівель, індивідуальний тепловий пункт, економічне моделювання.

У даний час сформувалися окремі науково-методичні напрямки, що стосуються термомодернізації будівель та модернізації системи централізованого теплопостачання (СЦТ). Зазвичай проблеми термомодернізації будівель [1, 2] розглядаються окремо від проблем енергоефективної модернізації системи централізованого теплопостачання [3, 4]. Разом з тим, з технічної точки зору, теплозахисну оболонку будівлі, внутрішньобудинкову систему опалення, теплові мережі (ТМ) та теплове джерело (ТД) слід розглядати як взаємопов'язані підсистеми єдиної системи, призначеної для забезпечення комфортного теплового режиму всередині будівель. Адже ТД, ТМ та підключені будівлі складають єдину технічну систему, всі

елементи якої пов'язані між собою тепловими та гідравлічними процесами, що відбуваються в них (рис.1).

Паливо, що надходить до котла, перетворюється на теплову енергію, яка втрачається в котлі, трубопроводах та різних елементах будівлі. Співвідношення цих втрат може змінюватися у залежності від технічних характеристик та стану складових даної системи, але більша частина теплової енергії використовується в будівлях та розсіюється у навколишнє середовище (рис.2).

При проведенні модернізації СЦТ та термомодернізації будівель розглянуті складові теплових втрат можуть бути зменшені та може бути досягнута економія палива. Орієнтовний

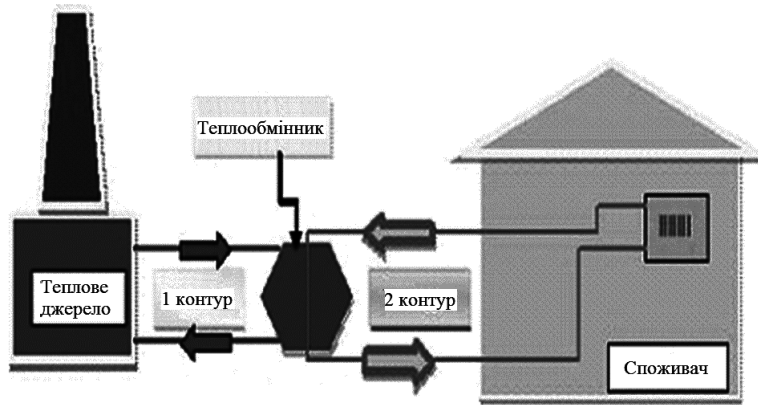


Рис.1. Теплові джерела, теплові мережі та будівлі — єдина технічна система.

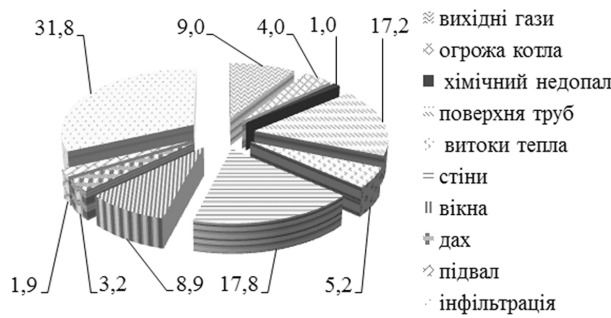


Рис.2. Приклад балансу використання теплоти палива у СЦТ

розподіл потенціалу економії палива за рахунок термомодернізації будівель та реалізації енергоефективних заходів у котлах та ТМ наведено у вигляді діаграми на рис.3. Як видно з наведеної діаграми, найбільший потенціал економії палива досягається за рахунок термомодернізації будівель, що не виключає необхідності модернізації ТД та ТМ.

Необхідно відзначити, що термомодернізація будівель буде зменшувати в абсолютному обчисленні втрати енергії у ТД та ТМ, тому що абсолютна потреба в енергії буде знижуватися. При цьому відносні показники енергетичної ефективності ТД та ТМ не будуть підвищуватися, а в окремих випадках можуть навіть погіршуватися. Сказане не є справедливим для заходів, що проводяться на ТД та ТМ. Їх модернізація не буде знижувати ні абсолютних, ні відносних втрат теплової енергії у будівлях.

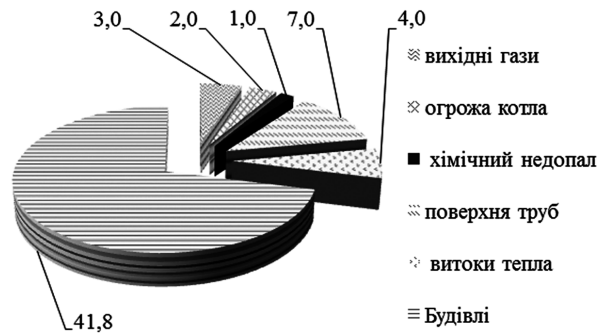


Рис.3. Розподіл потенціалу економії палива за рахунок термомодернізації будівель та модернізації елементів СЦТ.

інших (не термомодернізованих) споживачів теплової енергії (табл.1).

Розглянуті фактори впливу матимуть практичне значення, якщо сумарне приєднане навантаження термомодернізованих будівель буде перевищувати певну величину (приблизно 10–20 % від сумарного приєданого навантаження всіх будівель, приєднаних до даного джерела централізованого тепlopостачання).

Кожен із розглянутих факторів технічного впливу буде впливати на економіку підприємств тепlopостачання. При цьому характер цього впливу буде визначатися не тільки характеристиками самої будівлі, але й місцем його підключення до ТМ.

Як правило, термомодернізація будівель буде призводити до погіршення економічних показників підприємств тепlopостачання через зниження обсягів збуту теплової енергії.

Таблиця 1. Вплив заходів з термомодернізації будівель на СЦТ

Захід	Технічний вплив
Заміна вікон	Зниження приєданого теплового навантаження будівлі приблизно на 40 %. Можливість зниження встановленої потужності теплового джерела та діаметрів труб теплових мереж.
Утеплення фасадів	
Модернізація внутрішньо будинкових систем тепlopостачання з метою встановлення квартирних теплотічильників та регулюючих вентилів	Забезпечення можливості регулювання споживання теплової енергії в кожній квартирі, комфортних умов і зниження фінансових витрат на опалення
Встановлення індивідуальних теплових пунктів (ІТП) в будинках для автоматичного регулювання споживання тепла	Необхідність підвищення кількості теплової енергії, що відпускається в теплову мережу в холодні періоди опалювального сезону, і зниження цієї величини в теплі (перехідні) періоди. Збільшення нерівномірності графіка роботи ТД. Необхідність встановлення систем автоматичного регулювання технологічних процесів ТД. Можливе зниження якості погодного регулювання у сусідніх споживачів, не оснащених ІТП
Встановлення ІТП (будинкові теплообмінники гарячого водopостачання)	Забезпечення можливості ліквідації «перетопів» в перехідні періоди опалювального сезону. Можливість закриття центральних теплових пунктів (ЦТП) та використання будівель ЦТП за іншим призначенням.
Встановлення ІТП (незалежні схеми підключення)	Поліпшення теплогідравлічного режиму ТМ в умовах складного рельєфу місцевості та висотного будівництва
Відключення від централізованої системи гарячого водopостачання	Можливість відключення джерела централізованого тепlopостачання в літній період (при наявності такої можливості у інших споживачів, підключених до цього ТД)
Відключення від централізованої системи опалення	Зниження приєданого теплового навантаження на ТД

Однак при термомодернізації окремих віддалених будівель їх переведення на автономне тепlopостачання може бути економічно вигідне тепlopостачальним компаніям. Це відбувається тоді, коли подача теплової енергії в будівлю пов'язана зі значними втратами в протяжних ТМ та витратами електроенергії на його далеке транспортування. Більш детально цей аспект розглянуто у дослідженні [5].

Викладене вище свідчить про доцільність комплексного підходу до модернізації СЦТ та підключених до неї будівель. Окремий розгляд цих питань може призвести до прийняття неоптимальних технічних рішень та до неефективного використання величезних фінансових ресурсів [5]. Розглянемо техніко-економічну ефективність комплексного підходу на прикладі типової моделі окремого теплового району.

Тепловий район містить таке: ТД – газову котельню, ТМ та приєдані до них будівлі. Всі перераховані вище об'єкти потребують модернізації. ТМ та котельня вичерпали свій ресурс роботи. Коефіцієнт ефективності використання палива у котельні істотно нижче за показник, який досягається у сучасних котлах. Втрати теплоти у трубах ТМ істотно вищі за ті, які будуть при використанні сучасних попередньо ізолюваних труб. Експлуатація будівель може бути продовжена, проте питомі витрати теплової енергії на їх опалення істотно вищі, ніж у термомодернізованих будівлях.

Спрощена техніко-економічна модель теплового району призначена для порівняння різних сценаріїв розвитку життєвого циклу цього об'єкту на горизонті планування 50 років:

А) базовий сценарій – без капіталовкладень. Усі витрати йдуть на енергоресурси при існуючих потребах тепла, експлуатацію існуючого обладнання, ліквідації аварій у ТМ, заробітну плату персоналу;

В) модернізація СЦТ із заміною котлів, ТМ, мережних насосів (МН) та збереженням існуючих приєданих навантажень, встановленої потужності ТД та діаметрів труб ТМ;

С) модернізація СЦТ із заміною котлів, ТМ, МН, а також повна термомодернізація будівель з утепленням фасадів, встановленням енергоефективних вікон. При цьому зменшується приєдане теплове навантаження будівель, встановлена потужність котлів та діаметри труб ТМ, а також потужність МН;

Д) модернізація СЦТ із заміною котлів, ТМ, МН, а також повна термомодернізація будівель з утепленням фасадів, встановленням енергоефективних вікон, індивідуальних теплових пунктів (ІТП). При цьому зменшується приєдане теплове навантаження будівель аналогічно варіанту С, встановлена потужність котлів та діаметри труб ТМ. Крім того, за рахунок встановлення ІТП з погодозалежним регулюванням теплоносія досягається додаткова економія теплової енергії.

Порівняння сценаріїв А, В, С, Д здійснюється за критерієм мінімізації сумарних (капітальних та експлуатаційних) витрат за період планування 50 років.

Методичний підхід сформульованої вище задачі базується на використанні методу аналізу витрат та вигод (Cost Benefit Analysis).

Як витрати розглядаються: капітальні витрати на заміну котлів, труб ТМ та МН з час-

тотним регулюванням з врахуванням вартості додаткового обладнання, проектних та монтажних робіт; капітальні витрати на термомодернізацію будівель, у тому числі утеплення фасадів, заміну вікон та встановлення ІТП (варіант D); експлуатаційні витрати, у тому числі витрати на паливо (природний газ) для виробництва теплової енергії, витрати на електроенергію для транспортування теплоносія, ліквідацію аварій у ТМ, витрати на оплату персоналу. Як вигода (критерій порівняння) розглядається величина сумарних (капітальних та експлуатаційних) витрат щодо запропонованих сценаріїв. Беручи до уваги тривалість розрахункового періоду (50 років), враховано необхідність дворазової заміни обладнання (ТД, ТМ, МН) на протязі розрахункового періоду.

Розглянута вище модель теплового району реалізована у вигляді чотирьох однакових за структурою електронних таблиць Excel для кожного з розглянутих сценаріїв (А, В, С, D). Таблиці відрізняються даними, що характеризують рівень енергоефективності та надійності елементів системи у кожному з розглянутих сценаріїв.

Як приклад використання розробленої моделі розглянуто тепловий район з газовими кот-

лами, опалювальною площею 180 тис. м², приєднаним тепловим навантаженням 10 МВт та 2,8 МВт після термомодернізації будівель, протяжністю ТМ 5 км (у двотрубному обчисленні). Горизонт планування прийнятий 50 років. Вихідні дані наближено відповідають технічним та економічним характеристикам існуючих СЦТ, обладнання та будівель. Результати зіставлення чотирьох розглянутих сценаріїв наведені у табл.2.

У наведеному прикладі всі варіанти є догокупними (26–30 років), проте найкращим за критерієм мінімізації сумарних витрат та терміну окупності є варіант D. Тобто на горизонті планування 50 років економічно більш доцільним є комплексна модернізація ТД, ТМ із заміною МН, термомодернізація будівель та встановлення у них ІТП, у порівнянні з відокремленою модернізацією ТД та ТМ. Це обумовлено двома основними факторами:

– потенціал підвищення енергоефективності термомодернізації будівель істотно перевищує потенціал підвищення енергоефективності ТД та ТМ. У розглянутому прикладі за рахунок термомодернізації будівель приєднане теплове навантаження, а отже, й споживання

Таблиця 2. Основні показники сценаріїв А, В, С, D

Параметр	А	В	С	D
Річне питоме споживання тепла будівель, кВт(год/м ²)	250	250	70	56
Приєднане теплове навантаження, кВт	10027	10027	2807	2807
Еквівалентний діаметр трубопроводу ТМ, м	0,36	0,36	0,19	0,19
Ефективність використання палива в котельні, %	85	94	94	94
ККД мережного насоса, %	60	80	80	80
Потужність мережного насоса, кВт	136	102	63	63
Втрати в теплових мережах, кВт	697	231	139	139
Втрати в теплових мережах, %	14	5	10	10
Річна кількість поривів трубопроводів, шт./км	3	0,1	0,1	0,1
Капітальні затрати, тис. у.о.:				
котли	0	123	62	62
насоси	0	26	16	16
труби	0	2052	825	825
термомодернізація будівель	0	0	18000	18000
ІТП	0	0	0	1000
Всього з урахуванням додаткових витрат	0	5619	20315	21315
Річні експлуатаційні витрати, тис. у.о./рік:				
паливо	913	790	227	184
електроенергія	92	34	21	21
заробітна плата	24	24	7	7
усунення пошкоджень ТМ	5	0,2	0,2	0,2
Всього експлуатаційних витрат	1033	848	255	212
Сумарні витрати за період планування, млн у.о.	51,7	48	33,1	31,9
Термін окупності (в порівнянні з варіантом А), роки		30,4	26,1	25,9

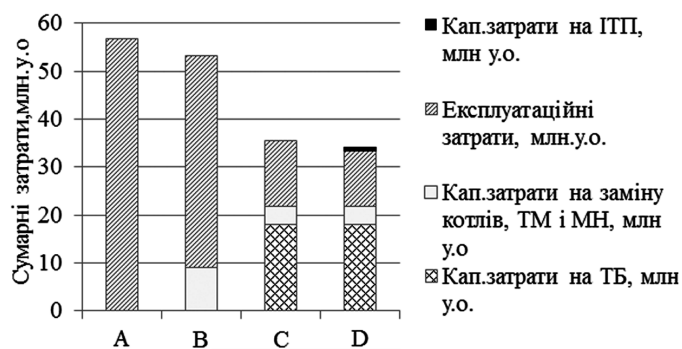


Рис.4. Капітальні та експлуатаційні витрати для варіантів сценаріїв А, В, С та D.

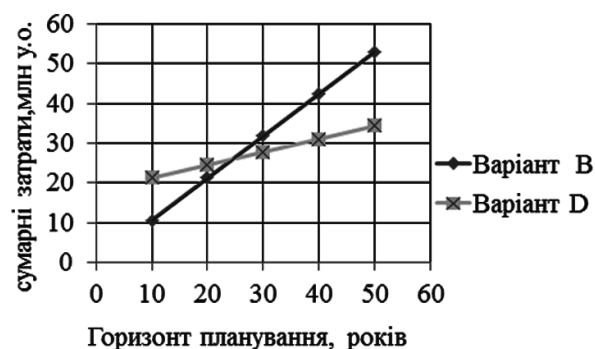


Рис.5. Вплив горизонту планування на сумарні витрати.

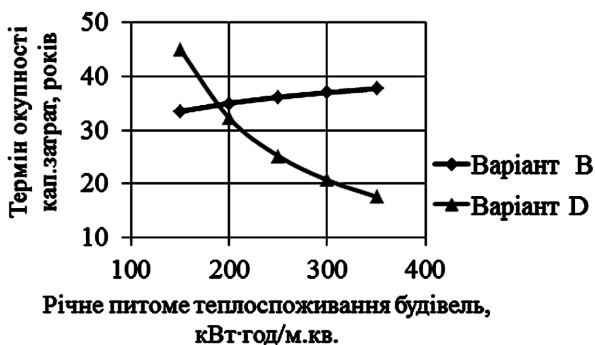


Рис.6. Вплив питомого теплоспоживання будівель до термомодернізації на термін окупності варіантів.

природного газу зменшується у 3,5 рази. Економія природного газу за рахунок заміни котлів та трубопроводів істотно менша та становить лише 7 та 9 % відповідно;

— виконуючи термомодернізацію будинків ми тим самим зменшуємо приєднане теплове навантаження, а отже, й необхідну потужність ТД, необхідний діаметр труб ТМ, втрати теплової енергії у ТД та ТМ, споживання електроенергії на транспортування теплоносія, а також капі-

тальні витрати на установку нових ТД, ТМ та МН. Так, у розглянутому прикладі після термомодернізації будівель необхідна потужність ТД зменшується з 10 до 2,8 МВт, діаметр трубопроводу — з 0,36 до 0,19 м, потужність мережного насоса — з 136 до 63 кВт.

Співвідношення капітальних та експлуатаційних витрат варіантів А, В, С та D для горизонту планування 50 років проілюстровано на рис.4. Видно, що капітальні витрати на термомодернізацію будівель є найбільшими, але, не зважаючи на це, сумарні витрати через 50 років експлуатації системи для варіанту D з термомодернізованими будівлями та ІТП у 1,5 рази менші, ніж для варіанту В, коли термомодернізація будівель не проводилася, так як у цьому випадку експлуатаційні витрати майже у 4 рази, а капітальні витрати на модернізацію СЦТ у 2,4 рази більші.

Перевага сценарію D проявляється не завжди, а тільки у певному діапазоні впливових параметрів, до числа яких необхідно віднести розрахунковий період (з врахуванням терміну роботи обладнання), теплоізоляційні характеристики будівель до термомодернізації, вартість природного газу, протяжність теплових мереж та цілий ряд інших параметрів, вплив яких можна проаналізувати за допомогою техніко-економічної моделі. Деякі з них проілюстровані рис. 5–8.

Сценарій D є привабливішим при горизонтах планування понад 24 роки (рис.6). При менших горизонтах планування більш вигідним є сценарій В. Збільшення питомого теплоспоживання будівель до термомодернізації призводить до суттєвого зниження терміну окупності капітальних витрат варіанту D та практично не впливає на термін окупності варіанту В. Величина питомого теплоспоживання будівель, вище якого варіант D стає кращим у порівнянні з варіантом В, становить близько 190 кВт·год/м². Якщо питоме теплоспоживання будівель нижче цієї величини, то більш привабливим є варіант В.

Як видно з рис.7, зі збільшенням ціни природного газу термін окупності капітальних витрат обох розглянутих варіантів зменшується, не впливаючи на перевагу одного з них.

Перевага варіанту D над варіантом В найбільшою мірою проявляється для протяжних ТМ (рис.8). У розглянутому прикладі варіант D є кращим для теплової мережі протяжністю понад 2,1 км. Якщо протяжність ТМ менше зазначеної величини, кращим є варіант В.

Таким чином, для обраного прикладу найкращим (за критерієм мінімальних сумарних

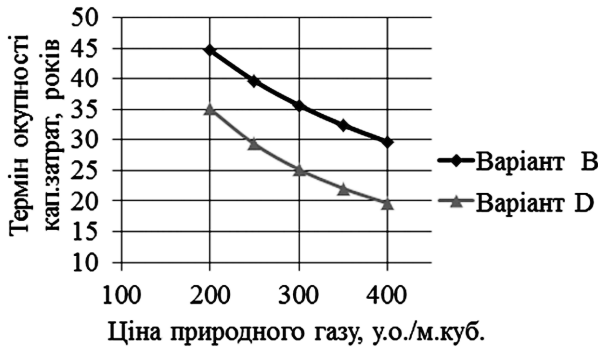


Рис.7. Вплив ціни природного газу на термін окупності капітальних витрат варіантів В та D.

витрат за весь час проекту) є варіант D — комплексна модернізація ТД, ТМ, МН та будівель зі встановленням ІТП. Перевага цього сценарію проявляється не завжди, а в певному діапазоні впливових параметрів, до числа яких належать такі: горизонт планування, теплоізоляційні характеристики будівель до термомодернізації, питома вартість термомодернізації, протяжність ТМ, вартість природного газу тощо, — вплив яких можна проаналізувати за допомогою техніко-економічної моделі.

Реалізація комплексної модернізації СЦТ та будівель потребує вдосконалення організаційно-технічних підходів до планування робіт на рівні органів місцевого самоврядування та теплопостачальних організацій.

Основне концептуальне положення про комплексну модернізацію теплових районів полягає у тому, що в масштабах населеного пункту термомодернізація будівель має здійснюватися не рівномірно по всіх житлових районах, а концентруватися на певному етапі в пріоритетному тепловому районі. Таким чином, вибір будівель для проведення термомодернізації здійснюється не тільки з урахуванням характеристик самої будівлі, але й за критерієм пріоритетності теплового району. Пріоритетними слід вважати теплові райони з неоптимальною структурою (наявність протяжних, слабконавантажених ділянок труб ТМ), зношеними ТМ та неефективними котельнями. Слід також враховувати те, що термомодернізація будівель у теплових районах, які підключені до ТЕЦ, призведе до погіршення енергетичної ефективності виробництва електричної енергії.

Установка ІТП може здійснюватися фрагментарно по зонах дії різних ТД, а може здійснюватися комплексно для групи будівель, які знаходяться у зоні дії одного ТД. Кращим є

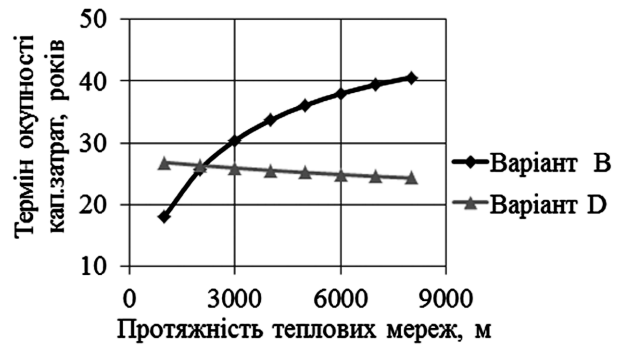


Рис.8. Вплив протяжності теплових мереж на термін окупності капітальних витрат варіантів В та D.

другий підхід, який припускає, що поряд з установкою ІТП здійснюється установка МН з регульованим приводом та перехід від кількісного до якісно-кількісного принципу регулювання теплового навантаження.

На ТД також встановлюються системи автоматичного регулювання процесу горіння на котлах. При цьому досягається не тільки економія теплової енергії у споживачів, але й економія палива та електроенергії на ТД. В іншому випадку термомодернізація будівель буде призводити до тепло-гідравлічного розбалансування ТМ та погіршення техніко-економічних показників роботи СЦТ.

Беручи до уваги необхідність термомодернізації великого числа будівель, обмеженість фінансових ресурсів та велику тривалість цього процесу, доцільно встановити раціональну послідовність термомодернізації будівель, підключених до СЦТ, за критерієм максимізації сумарного економічного ефекту для споживачів та для постачальників теплової енергії.

Факторами пріоритетності є:

- 1) низька енергетична ефективність будівлі;
- 2) низька енергетична ефективність СЦТ, до якої підключено будівлю, у тому числі ТД з високою питомою витратою палива, ТМ з великими втратами теплової енергії, високі питомі витрати електроенергії на транспортування теплоносія;
- 3) велика віддаленість будівлі або відносно невеликої групи будівель від джерела теплової енергії, коли втрачає тепло та витрати електроенергії на транспортування теплової енергії можна порівняти з кількістю енергії, що транспортується. Має бути розглянутий варіант відключення будівлі від СЦТ з установкою автономного джерела теплової енергії;
- 4) дефіцит встановленої потужності на джерелі теплової енергії.

Фактори низького пріоритету:

1) теплопостачання будівлі від джерела комбінованого виробництва теплової та електричної енергії через зниження можливості вироблення електричної енергії на тепловому споживанні;

2) теплопостачання будівлі від високоефективного теплового джерела, що має надлишок встановленої потужності.

Висновки

Масова термомодернізація будівель призведе до зниження приєднаного теплового навантаження, зниження обсягів збуту теплової енергії та погіршення фінансового становища теплопостачальних компаній. Це може призвести до виникнення конфлікту інтересів теплопостачальних підприємств (особливо некомунальної форми власності) та структур, залучених до процесу термомодернізації будівель. З метою згладжування цього конфлікту інтересів слід стимулювати діяльність теплопостачальних підприємств щодо термомодернізації будівель таким чином, щоб зниження доходу через зменшення обсягів збуту теплової енергії компенсувалося за рахунок збільшення доходу від термомодер-

нізації будівель. Слід заохочувати створення спеціалізованих підрозділів з термомодернізації будівель в структурі теплопостачальних компаній, у тому числі таких, що працюють за ЕСКО-схемою.

Список літератури

1. Фаренюк Г.Г., Федевич О.М. Науково-методичні напрями вирішення проблеми енергоефективності будівель. *Будівельні конструкції. Енергозбереження у будівництві*. 2013. Вип. 77. С. 10–14.
2. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. Київ : Гамма-Принт, 2009. 216 с.
3. Никитин Е.Е. Системный подход к разработке энергоэффективных схем теплоснабжения городов и населенных пунктов. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2009. № 4. С. 89–97.
4. Кулик М.М., Куц Г.О., Білодід В.Д. Аналіз стану розвитку систем теплопостачання в Україні. *Проблеми загальної енергетики*. 2006. № 14. С. 13–24.
5. Нікітін Є.Є. Підвищення енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання : Автореф дис. ... докт. техн. наук. Київ, 2015.

Надійшла до редакції 25.03.19

Никитин Е.Е., докт. техн. наук, **Дутка А.В.**

Институт газа НАН Украины, Киев

ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: adutka@ukr.net

Комплексный подход к модернизации тепловых источников, тепловых сетей и подсоединенных к ним строений

Разработана математическая модель, позволяющая выполнить сравнительный анализ технико-экономических характеристик трех сценариев модернизации системы теплоснабжения теплового района: замена котлов, тепловых сетей и насосов со сбережением существующих подсоединенных нагрузок; замена этих элементов в сочетании с термомодернизацией строений; сценарий, включающий выполнение всех предшествующих мероприятий и установление индивидуальных тепловых пунктов в строениях (комплексная модернизация). Показаны преимущества комплексного подхода к модернизации на горизонте планирования 50 лет. Выполнен расчетный анализ влияния различных факторов на преимущества этого сценария. Разработанная модель может быть использована для подготовки технико-экономических обоснований проектов энергоэффективной модернизации систем централизованного теплоснабжения и строений. *Библ. 5, рис. 8, табл. 2.*

Ключевые слова: система теплоснабжения, модернизация, комплексный подход, тепловые источники, тепловые сети, термомодернизация строений, индивидуальный тепловой пункт, экономическое моделирование.

Nikitin E.E., Doctor of Technical Sciences, Dutka O.V.
The Gas Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev
39, Degtyarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: adutka@ukr.net

The Complex Approach to the Modernization of Boilers, Heat Networks and Connected Buildings

The mathematical model that allows for a comparative analysis of the technical and economic characteristics of the three scenarios of the thermal modernization district heating system: the replacement of boilers, heat networks and pumps, the replacement of these elements in combination with thermal modernization of buildings, as well as a scenario that includes the implementation of all previous measures and the installation of Individual Heat Points in buildings (complex modernization). The advantages of the complex modernization on the horizon of planning for 50 years have been shown. Calculated analysis of the influence of various factors on the preference for this scenario has been carried out. The developed model can be used for the preparation of feasibility studies of projects energy efficient modernization of district heating systems and buildings. *Bibl. 5, Fig. 8, Tab. 2.*

Key words: district heating system, modernization, boilers, heat networks, thermal modernization of buildings, individual heat point, economic modeling.

References

1. Farenjuk G.G., Fedevich O.M. [Scientific and methodical directions of solution of the problem of energy efficiency of buildings. Interdepartmental scientific and technical collection]. *Budivelnny constructsii. Energoberezhennya u budivnytvi. [Energy Saving in Construction]*. 2013. No. 77, pp. 10–14. (Ukr.)
2. Farenjuk G.G. [Fundamentals of energy efficiency of buildings and thermal reliability of fencing constructions]. Kiev : Gamma-Print, 2009. 216 p. (Ukr.)
3. Nikitin E.E. [The System Approach to Energy Efficient Heat Supply Schemes for Cities and Settlements Development]. *Energotekhnologii i resurso-*
4. Kulyk M.M., Kuts G.O., Bilodid V.D. [An analysis of status and development of thermal supply systems in Ukraine]. *Probltmy zagalmoi Energetiky [The Problems of General Energy]*. 2006. No. 14. pp. 13–24. (Ukr.)
5. Nikitin E.E. [Improving of energy efficiency of population centres district heating systems]. – Manuscript. Dissertation for a Doctor Degree of Technical Science in speciality 05.14.01 – Power systems and complexes. Kiev : National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», 2015.

Received March 25, 2019