

ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УКРАЇНСЬКИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Єрємін А. В., Колосов О. Є.

1. Вступ

На сучасному етапі розвитку суспільства найбільш енергоємним сектором більшості промислово розвинених держав світу є системи забезпечення комфортної життєдіяльності людини. Одним з основних завдань стало створення умов ефективної роботи систем життєзабезпечення в стаціонарному і в змінному експлуатаційних режимах. Даний підхід передбачає досліджувати конкретну будівлю чи споруду в комплексі і взаємозв'язку з її оточенням, тобто проводити системний аналіз.

За висновком Світової енергетичної комісії «... сучасні будівлі володіють величезними резервами підвищення їх теплової ефективності, але дослідники недостатньо вивчили особливості теплового режиму, а проектувальники не навчилися оптимізувати теплоту і масу огорожувальних конструкцій» [1]. Слід констатувати, що вартість (у грошовому еквіваленті) послуг опалення і гарячого водопостачання стала «важкою ношею» для бюджету переважної більшості українських родин. Причина – існуючі будівлі були побудовані без належної уваги до економії енергії, оскільки колись ця енергія була відносно дешевою. Сьогодні ж її вартість висока і її подальше зростання неминуче.

Відповідно до державних будівельних норм (ДБН) [2], термомодернізація – це комплекс ремонтно-будівельних робіт, спрямованих на поліпшення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будівель, показників енергоспоживання інженерних систем та забезпечення енергетичної ефективності будівлі не нижче мінімальних вимог, що висуваються до енергетичної ефективності будівель.

Таким чином, сутність комплексної термомодернізації (термосанації) багатоповерхової або приватної малоповерхової будівлі полягає в розробці та подальшому застосуванні енергоефективних технічних та технологічних засобів (способів і пристроїв), які приводять до значного скорочення енергоспоживання.

Побічним позитивним результатом термомодернізації є покращення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будівель і споруд. В результаті за оптимістичного варіанту при неминучому підвищенні вартості енергоносіїв оплата споживачів за комунальні послуги зменшується, а їх якість поліпшується. Тобто досліджувана термомодернізація може розглядатися як сучасна передова технологія як в будівництві, так і для комунального господарства, що підтверджує актуальність проведеного дослідження. Адже за оцінками міжнародних експертів, в Україні на утеплення індивідуальних будинків необхідно близько 300 млрд. грн, а багатоквартирних – 400 млрд. грн [3].

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єкт дослідження – комплексна термомодернізація будівлі чи споруди, а саме її системи опалення та фасадної теплоізоляції з урахуванням зарубіжного досвіду.

Зазвичай комплексну термомодернізацію реалізують шляхом додаткового утеплення будівлі з обов'язковою модернізацією її системи опалення [2]. Утеп-

лення будинку без модернізації системи опалення часто не дає позитивного результату з економії енергії і нерідко призводить навіть до негативного результату – до збільшення енергоспоживання.

З одного боку, комплексна термомодернізація вимагає значних фінансових і матеріальних витрат. Але, при повному виявленні всіх енерговитратних проблем будівлі і виборі правильного методу їх усунення, комплексна термомодернізація приводить до підсумкового зменшення оплати за комунальні послуги. І отримувана економія згодом перекриває початкові фінансові витрати на проведення комплексної термомодернізації.

Головною причиною значного теплоспоживання при опаленні будівель, як зазначено вище, є надмірні тепловтрати через зовнішні огорожувальні конструкції будівлі. Переважна більшість існуючих будівель відпочатку мають низькі показники теплової ізоляції будівельних конструкцій, що призводить до значних втрат теплоти через них. Теплозахисні вимоги (відповідні їм коефіцієнти) в старих (до 1991 р.) будівельних нормах, що пред'являються до стін, горищних перекриттів тощо, були в декілька разів нижче сучасних вимог (відповідних їм коефіцієнтів). Тому через будівельні конструкції старих будівель теплоти втрачається в кілька разів більше, ніж у сучасних будівлях.

Іншою не менш важливою причиною високого теплоспоживання є низька енергоефективність старих систем опалення. Вони спочатку були запроектовані з надмірним (у кілька разів) теплоспоживанням. Морально і технічно застарілі теплові пункти, гідравлічно розрегульовані системи теплопостачання внаслідок несанкціонованого втручання користувачів (самостійна заміна радіаторів, трубопроводів і т. д.), засмічені трубопроводи, відсутня їх теплоізоляція в неопалюваних підвалах – це далеко не повний перелік недоліків старих систем опалення. З такими системами, навіть утеплити будинок, неможливо економити енергію і створити комфортні умови для проживання.

Єдиним методом скорочення матеріальних і фінансових витрат на опалення сьогодні і в найближчому майбутньому є зменшення кількості споживаної теплової енергії. Цього можна досягти, оптимізувавши систему комплексної термомодернізації будівлі. Так, наприклад, в численних випадках погано теплоізовані зовнішні стіни в квартирі залишаються холодними.

Особливо необхідно виділити необхідність технічної модернізації системи опалення, що обумовлено наступними факторами. Багатоквартирні житлові будинки та громадські будівлі в переважній більшості оснащені системами центрального водяного опалення – однотрубними, з нижньою або верхньою розводкою, і з елеватором, розташованим в тепловому пункті. Найбільш часто ці будівлі приєднані до тепломережі. Причому існуючі системи опалення старих (до 1991 р. побудови) будівель мають ряд конструктивних недоліків, які спочатку не дозволяють економити теплову енергію і забезпечувати тепловий комфорт у приміщеннях протягом всього опалювального періоду [2].

Для таких не нових будівель оптимально підходила однотрубна система опалення, тому що, а це було важливим – труб потрібно було в два рази менше, а значить, і коштувала така система в рази менше. Проте однотрубна система володіла двома істотними недоліками – її неможливо було регулювати, і прак-

тично неможливо порахувати кількість спожитого тепла одним споживачем (квартирою). І до тих пір, поки вартість гігакалорії тепла була низькою (і частіше відпускатись споживачам істотно нижче її собівартості), не було необхідності проводити технічну модернізацію існуючої однотрубною системи.

Як показали проведені дослідження, для більш точного обліку спожитого тепла і регулювання системи опалення необхідно використовувати двотрубну систему опалення [2]. Однак при такій модернізації (перехід з однотрубною на двотрубну систему опалення) виникає серйозна проблема, пов'язана з порушенням існуючого (зробленого) ремонту всередині квартир (приміщень), переважна кількість яких на момент проведення термомодернізації була приватизована мешканцями і отримала статус приватної власності.

Велике споживання теплової енергії в деякій мірі також викликано відсутністю його обліку у кожного споживача (квартири/користувача), що також не стимулює індивідуальне економне використання тепла. Індивідуальний облік теплоспоживання, в свою чергу, вимагає надання користувачеві можливості індивідуального регулювання роботи кожного опалювального приладу (застосування автоматичних терморегуляторів на радіаторах), тобто можливості впливу на зменшення споживання теплової енергії.

Опалювальні прилади старих систем опалення житлових будинків таку можливість функціонально не реалізують. Тільки будівля, теплоізована належним чином, а також обладнана автоматичними терморегуляторами опалювальних приладів і засобами індивідуального обліку, в повній мірі забезпечує максимальний результат у вигляді зниження енергоспоживання та комунальних платежів. Часткове застосування енергоефективних заходів відповідно дає частковий результат, і то тільки в тому випадку, якщо є модернізована система опалення, яка змогла адекватно «відреагувати» на ці технічні рішення.

Таким чином, комплексна термомодернізація включає розроблення і реалізацію інноваційних технічних та технологічних рішень, які знижують енергоспоживання і, в кінцевому підсумку, «зменшують» розмір комунальних платежів. Тому дослідження таких технічних рішень, що сприятимуть підвищенню енергетичної ефективності українських (і не тільки) будівель і споруд, є важливим.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – аналіз наявних технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності українських будівель і споруд із врахуванням зарубіжного досвіду.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Окреслити невирішені проблеми щодо комплексних технічних рішень з термомодернізації будівель і споруд, що стосуються системи опалення та фасадної теплоізоляції.
2. Обґрунтувати можливі шляхи вирішення виявлених проблем, які суттєво знижують енергоспоживання.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

4.1. Аналіз сучасних напрямів проведення термомодернізації

Вирішенню проблемних питань з термомодернізації будівель і споруд розглянуто присвячено багато наукових праць. Зокрема, у фундаментальній роботі

[4] досліджуються різні аспекти теплопередачі, що мають місце при здійсненні термомодернізації. Аналіз сучасних систем енергопостачання промислових підприємств подано в роботі [5]. Базові рішення щодо ремонту і реконструкції цивільних будівель наводяться в роботі [6]. Проте у цих роботах не зазначено як окремі, так і комплексні технічні рішення з одночасної заміни існуючих трубопроводів системи центрального водяного опалення та здійснення теплоізоляції фасаду. Також не вказані ефективні конструктивні параметри елементів системи термомодернізації, що реалізують ці рішення.

Автори роботи [7] запропонували поліоптимальний метод визначення схем термомодернізації будівель на основі теорії нечітких множин. В якості критеріїв оптимізації було враховано мінімізацію загальної вартості термомодернізації та максимізацію отриманого енергетичного ефекту.

У роботі [8] зазначається, що збірні, з несучими стінами, багатоквартирні будинки являють собою значну групу об'єктів, що часто зустрічаються в країнах Центральної та Східної Європи. Адже вони були побудовані в 50-х, 60-х і 70-х років 20 століття. Сьогодні нові екологічні норми Європейського Союзу примушують модернізувати такі будівлі, в основному стосовно енергоефективності. Авторами чисельно оцінені частоти природних коливань будівель до і після термомодернізації, що були підтверджені експериментальними даними, отриманими для існуючих споруд.

У роботі [9] представлені методи випробування та результати оцінки даних, необхідних для визначення споживання енергії в будівництві, на основі вимірювань в типовому будинку для однієї сім'ї в Польщі. Термомодернізація будівлі та її вплив на внутрішній мікроклімат розглядається у роботі [10]. Публікація [11] присвячена питанням збереження історичної спадщини будівель, що піддаються термомодернізації. Ефективні шляхи підвищення енергоємності та термомодернізація існуючих будинків розглянуті у роботі [12]. Аналіз варіантів термомодернізації житлового будинку з точки зору оптимальних енергетичних вимог наведено у роботі [13]. Дослідження [14] висвітлює майбутню проблему з погіршення екологічної користі від зменшення енергозбереження будинків у системах централізованого теплопостачання, оскільки сторона пропозиції стає «більш екологічною» та енергоефективнішою.

Комплексний аналіз динамічної поведінки системи централізованого теплопостачання було виконано в роботі [15] за допомогою розробленої математичної моделі. Модель складається зі спрощеної системи централізованого теплопостачання з трьома кінцевими користувачами і мережею трубопроводів довжиною 9 км. Також дослідження системи термомодернізації доцільно здійснювати із застосуванням структурно-параметричних моделей [16], що є частиною комплексного підходу, і які дають можливість моделювати зв'язки між структурними елементами досліджуваної системи.

4.2. Аналіз патентнозахищених технічних рішень з термомодернізації

Проблемі термомодернізації будівель і споруд присвячено ряд технічних рішень, у тому числі патентнозахищених, основні з яких описуються нижче. Так, відповідно до способу реконструкції системи опалення будинку [17], який

включає монтаж подавального і зворотного стояків, сполучених з нагрівальними радіаторами окремих приміщень будинку, при цьому подавальний і зворотний стояки встановлюють зовні стіни будинку. Після цього нагрівальні радіатори під'єднують до трубопроводів стояків з подальшою тепловою ізоляцією зовнішніх поверхонь трубних елементів.

Недоліком зазначеного способу [17] є відсутність оптимальних геометричних параметрів та неефективне розміщення існуючих елементів системи теплопостачання щодо фасадної стіни, а також складність реалізації модернізації трубопроводів системи центрального водяного опалення, зокрема, внаслідок відсутності ефективних процедур реалізації способу.

Також відома (однотрубна) система теплопостачання, трубопроводи якої кріпляться до зовнішньої стіни та покриваються шаром комбінованої теплової ізоляції, середній з яких є піною, а крайній – зйомною панеллю [18]. Недоліками цієї системи є її недостатня ефективність, а також необхідність (при виникненні відповідної потреби) зйому крайньої панелі теплоізоляційного шару комбінованої теплової ізоляції після завершення монтажу, що викликає певні труднощі, особливо для багатоповерхових будинків.

У роботі [19] описується конструктивне кріплення комбінованих теплоізоляційних фасадних елементів до фасадної стіни за допомогою дюбелів та інших кріпильних елементів, які, проте, не передбачають оптимальне розміщення всередині них трубопроводів системи теплопостачання. А саме в ізоляції розміщені труби в області, віддаленій від зовнішньої фасадної стінки.

У роботі [20] секція стіни утворює облицювання на внутрішніх стінах будівлі, закріплених розчином до стіни. Ця секція містить стінку і пластину з отворами однакової висоти і ширини, розташовану паралельно. Між ними розташований шар теплоізоляційного матеріалу і труба теплоносія. Останній з'єднаний між подаючою й зворотною трубами системи центрального опалення. Недоліками цього технічного рішення є складна конструкція теплоізоляційного шару і складність його кріплення до фасадної стіни.

Інша (однотрубна) система теплопостачання, що повсюдно застосовується в старих багатоквартирних будинках, містить як мінімум один подаючий і зворотний стояки трубопроводу. Останні виконані з можливістю підключення до підземних або наземних трубопроводів центрального теплопостачання і постійно підключені до цих трубопроводів, а також квартирні опалювальні прилади, що підключені до відповідних стояків [21].

Недоліком вищевказаної системи теплопостачання є необхідність проведення повної реконструкції будівлі з втручанням в існуючі ремонти, попередньо зроблені всередині приміщень, а також складність її реалізації.

Відома також система теплопостачання багатоповерхового будинку, що включає подаючий і зворотний магістральні колектори теплоносія, по крайній мірі одну пару подаючого та зворотного стояків, з'єднаних з магістральними колекторами, а також квартирні опалювальні прилади. При цьому в кожній під'їзній секції встановлена як мінімум одна під'їзна пара подаючого та зворотного стояків. У будь-якій даній квартирі встановлені прямий і зворотний колектори внутрішньоквартирної розводки, до яких приєднані всі квартирні опалювальні прилади тільки

даної квартири. Також встановлено квартирний вузол обліку, за допомогою якого колектори внутрішньоквартирної розводки даної квартири з'єднані з прилеглою до даної квартири під'ізною парою подаючого і зворотного стояків [22].

Недоліком вищевказаної системи є її обмежена її функціональність, тобто неможливість застосування при комплексній термомодернізації будівель з огляду на те, що немає можливості прокладання трубопроводів всередині приміщень з уже виконаним ремонтом.

Відома система теплопостачання багатоквартирного будинку [23], яка містить як мінімум один подаючий і зворотний стояки, квартирні опалювальні прилади, підключені до відповідних стояків, трубопроводи центрального теплопостачання, два запірних елемента, призначених для підключення подаючого і зворотного стояків до трубопроводів центрального теплопостачання. Ця система також містить контролер, призначений для автоматичного управління процесом теплопостачання, два додаткових запірних елемента і як мінімум одну дахову або окремо стоячу газову опалювальну котельню установку. Потужність останньої не перевищує 3 МВт. Установка містить газовий котел, циркуляційний насос, розширювальний бак і регулюючий клапан, призначений для керованої контролером подачі газу в котел. При цьому вихід газового котла через один додатковий запірний елемент підключений до подаючого стояка. Вихід циркуляційного насоса з'єднаний з входом газового котла. Вхід циркуляційного насоса з'єднаний з розширювальним баком і через інший додатковий запірний елемент зі зворотним стояком. Вищезгаданий котроллер виконаний з можливістю автоматичного закривання додакових запірних елементів, відключення циркуляційного насоса і відкривання запірних елементів, призначених для підключення подаючого і зворотного стояків до трубопроводів центрального теплопостачання [23].

Недоліком вищевказаної системи теплопостачання є недостатня її ефективність при проведенні комплексної термомодернізації зазначеного будинку внаслідок відсутності оптимальних геометричних параметрів і розміщення елементів системи теплопостачання щодо фасадної стіни.

Відомий спосіб енергозабезпечення будівлі із замкнутим циклом терморегуляції в процесі опалення будівлі [24], що включає одержання тепла від низькопотенційного джерела, від якого передають тепло циркулюючому теплоносію в об'ємні радіаторні системи каналів, розташовані в n -шаровій стіні. Крім цього передбачено, що одержання тепла від низькопотенційного джерела є додатковим, а основним джерелом одержання тепла є високопотенційне джерело, встановлене всередині будівлі. Для цього температуру теплоносія об'ємної радіаторної системи регулюють продуктивністю циркуляційного насоса залежно від заданої температури усередині будівлі і коливання температур зовнішнього повітря.

Недоліком відомого способу [24] є його обмежена функціональність.

Найбільш відома система і реалізуючий її спосіб термомодернізації житлового будинку, що описані в каталозі фірми Данфос (Danfos), і які засновані як на однотрубній, так і на двотрубній системі опалення житлових приміщень [25]. Зазначена система термомодернізації у випадку застосування двотрубної системи складається з системи фасадного утеплення зовнішніх стін будівель і споруд. Остання виконана у вигляді вентилязованого фасаду, або одно- або багат шарової констру-

кції утеплювача, або у вигляді «мокрого» фасаду. При цьому фасад виконаний, наприклад, у формі плит або рулонів. Вони прикріплені за допомогою поліуретанових пен або клейових сумішей і дюбелів до існуючої зовнішньої стіни і покриті шаром штукатурки по армуючій сітці. Остання виготовлена з високоміцного і одночасно інертного матеріалу, наприклад, скловолокна.

Система опалення приміщень будівель і споруд системи термомодернізації виконана у складі джерел тепла, виконаних, наприклад, у вигляді автономної котельні, індивідуального теплового пункту, теплоелектроцентралі або поновлюваних джерел енергії, системи центрального водяного опалення. В останній вертикально і послідовно по стояку через запірно-регулюючу арматуру підключені опалювальні прилади. Ці прилади виконані у вигляді регістрів з гладких труб або радіаторів, розташованих в опалювальних приміщеннях, і підключених до системи центрального водяного опалення через термостатичні крани. При цьому вертикальна система центрального водяного опалення підключена з верхньою або нижньою розводкою до джерела тепла, яке підключено до місцевої або центральної теплової мережі за залежною або за незалежною схемою.

У свою чергу, в процесі реалізації процедур вищевказаного способу термомодернізації житлового будинку [25] здійснюють аналіз технічного стану термомодернізуємої будівлі на підставі сукупності попередньо зібраних технічних параметрів. Після цього здійснюють енергетичний аудит термомодернізуємої будівлі, наприклад, шляхом використання тепловізійного обстеження. Внаслідок цього виявляють місця негерметичності будівельної конструкції, і як наслідок підвищені, у порівнянні з нормативними показниками, теплові втрати з опалювальних приміщень термомодернізуємої будівлі назовні, а також значення температури будівельної конструкції.

Далі здійснюють проектування окремих елементів і всієї системи комплексної термомодернізації будівель і споруд. При цьому при проектуванні враховують проектний або наперед заданий температурний режим експлуатації термомодернізуємої будівлі. Цей включає розрахункові температури, які використовуються для розрахунку навантаження системи центрального водяного опалення в досліджуваному регіоні, а також теплотехнічний параметр стану, матеріал і товщину стін термомодернізуємої будівлі, що реконструюється.

Далі встановлюють конструктивно-технологічний взаємозв'язок між окремими елементами системи і здійснюють компонування всієї системи комплексної термомодернізації будівель і споруд в цілому. Після цього здійснюють комплексну термомодернізацію будівель та споруд шляхом здійснення монтажу на існуючій будівлі елементів системи комплексної термомодернізації з визначеними на попередньому етапі проектування параметрами та матеріалами виконання складових конструктивних елементів системи.

Проте недоліком вищевказаної системи і реалізуючого її способу термомодернізації житлового будинку є недостатня їх ефективність при проведенні комплексної термомодернізації зазначеного будинку внаслідок відсутності оптимального складу, оптимальних геометричних параметрів та неефективного розміщення існуючих елементів системи тепlopостачання щодо фасадної стіни. Не менш важливим є геометричні параметри розміщення віконних прорізів, ная-

вність декоративних елементів та зливостоків на зовнішній стіні фасаду, а також товщина і матеріал виконання еквівалентної фасадної теплоізоляції. Ці параметри визначаються, як правило, розрахунково-експериментальним шляхом у кожному конкретному випадку.

4.3. Аспекти дослідження фасадної теплоізоляції будівель і споруд

Дослідженню фасадної теплоізоляції будівель і споруд, що є важливою частиною системи термомодернізації, присвячено ряд робіт. Так, наприклад, в роботі [26] акцентується на необхідність глобального погляду на будівлю, зокрема, на тому, що іноді достатньо використовувати інший ізоляційний матеріал (що дозволяє дифузувати повітря). Автори цієї роботи відзначають, що такий підхід допоможе зменшити втрати тепла при збереженні теплового комфорту та уникнути синдрому хвороб для мешканців.

У роботі [27] аналізуються поточний стан теплоізоляції стін без пінополістиролу та існуючих вікон будівель Alipasino polje в м. Сараєво, Боснія і Герцеговина, на яких працює котел K-5 через його підстанції, а також поточну витрату палива. У роботі [28] описується новий підхід до моделювання на основі зображень, що заснований на термографічних зображеннях, і який застосовується для досліджень енергоефективності фасадів будівель. Цей підхід є автоматизованим і дозволяє отримувати термографічні 3D-моделі і ортозображення.

Результати роботи [29] показують, що найбільш ефективним рішенням з теплоізоляції є вентильований фасад у поєднанні з найбільш удароміцними ізоляційними матеріалами, наприклад, з кам'яної вати і спіненого полістиролу. Також найбільш доцільним фасадом у всіх кліматичних зонах є зовнішня система теплоізоляції в поєднанні з ізоляцією будь-якого типу. Методологічна база для оцінки важливості місцевої діяльності зовнішньої теплоізоляційної композиційної системи досліджена в роботі [30]. З точки зору споживачів, використання цієї фасадної системи забезпечує високу термостійкість і може бути застосовано досить швидко за допомогою простих методів роботи.

У роботі [31] досліджується розширене використання подвійного фасаду в будівлях різних типів, пов'язаних зі споживанням енергії і тепловим комфортом. Для цього була розроблена спрощена математична модель для динамічного моделювання теплових характеристик, зокрема, розрахунку теплової енергії через втрати конвекції з зовнішнього фасадного шару, сонячної енергії та внутрішніх навантажень. У роботі [32] відзначається, що так звані «зелені» фасади можуть являти собою стійке рішення для будівництва нових будівель і для модернізації існуючих будівель. Це робиться з метою зниження енергетичних потреб систем охолодження, зменшення міського «теплового острова» (парникового ефекту) і поліпшення теплових характеристик будівель.

У роботі [33] розглядаються випромінюючі панелі, що являють собою енергоефективні сенсорні системи опалення і підходять для будинків з низькою енергією. Описано результати досліджень з оптимізації теплоізоляційних шарів будинку, нагрітого з використанням систем променевого опалення. У роботі [34] вводиться нова модель перемикаємого ізоляційного так званого U-елемента, що складається з блоку подвійного скла з напівпрозорої ізолюючої панелі, встановленої

всередині. Модель використовується для параметричного аналізу, де досліджується вплив різних теплофізичних властивостей на U-значення.

Дослідження фізико-механічних властивостей ефективних теплоізоляційних матеріалів з волоконних конопель проводилося в роботі [35]. Основні компоненти, які можна отримати під час переробки волокнистої біомаси конопель – волокна і шипи, що характеризуються низькою щільністю і пористою структурою. Тобто вони придатні для виробництва теплоізоляційних композитів. Модель для будівлі з вентильованим фасадом досліджувалась у роботі [36]. Авторами був проаналізований тепловий потік зовнішньої стінки, причому спостерігалися великі температури на зовнішньому шарі і всередині порожнини. Модель дозволяє розрахувати енергетичну потребу фасаду будівлі, пропонуючи і оцінюючи пасивні стратегії.

Ефективним інтенсифікуючим методом виготовлення фасадних теплоізоляційних матеріалів з полімерних композиційних матеріалів є низькочастотна ультразвукова обробка. Методика розрахунку конструктивно-технологічних параметрів ультразвукового пристрою з прямокутною випромінюючою пластиною досліджується в роботі [37]. Результати цієї роботи доцільно розповсюдити на виготовлення теплоізоляційних елементів.

4.4. Енергоаудит та техніко-економічні аспекти термомодернізації

Техніко-економічні аспекти термомодернізації житлових будівель аналізуються в роботі [38]. У роботі [39] описуються основні, з точки зору авторів, методи термомодернізації та економічна ефективність їх впровадження, а також запропонована методика їх впровадження. Авторами було зроблено аналіз існуючих способів енергоаудиту та виявлені їх недоліки, а також побудована графічна залежність зміни термічного опору стіни в залежності від типу її ізоляції та товщини. Наголошено на необхідності проведення ряду подальших експериментів та техніко-економічного аналізу використання енергосистем взагалі. Проте тандем технічних рішень «заміна існуючих трубопроводів системи центрального водяного опалення + здійснення теплоізоляції фасаду» та його ефективність у цій роботі не розглядалися.

Багато робіт присвячено дослідженню різних аспектів термомодернізації, здійснюваних, зокрема, у Польщі. Вибрані напрями підвищення ефективності у підтримці термомодернізації будівель за рахунок державного фінансування на прикладі Республіки Польща розглянуті в роботі [40]. У роботі [41] подано техніко-економічний аналіз робіт, проведених з термомодернізації у багатоповерхових будинках та комунальних об'єктах, побудованих у Польщі до 1990 року. Проаналізовані 1441 будівля, що розташовані в 7 містах цієї країни. При цьому використовувались як традиційні, так і індустріальні технології (збірний багат шаровий бетон, зеранська цегла). Енергоефективність та економічний аналіз термомодернізації лісових будинків у Національному парку Свентокржиський (Świętokrzyski) наведено у роботі [42]. Урахування екологічних переваг інвестицій у термомодернізацію на прикладі кооперативного житла Західно-Поморського воєводства досліджується у дослідженні [43]. Оцінка термомодернізації за допомогою методу глобальних витрат наведена у роботі [44]. Проблема управління споживанням енергії в будівлях шляхом моделювання та управління основними електроприла-

дами розглядається в роботі [45]. Розроблено симулятор, який моделює споживання енергії навантаження і допомагає зрозуміти, як вони сприяють максимальному попиту на теплову та електричну енергію.

У роботі [46] представлений метод оцінки екологічних ефектів для інвестицій, заснований на теплоізоляції зовнішніх стін будівлі з урахуванням чутливості вибраних змінних. Методологія оцінки враховує змінні, які є результатом типу зовнішньої стіни будівлі, джерела нагріву, що застосовується, типу теплоізоляційного матеріалу, а також кліматичної зони, в якій розташована будівля.

5. Методи дослідження

Під час виконання роботи застосовано загальнонаукові та спеціальні методи дослідження:

- економічного аналізу – при визначенні актуальності теми дослідження;
- статистичного аналізу – для визначення та узагальнення тенденцій змін з проведення термомодернізації на основі світового досвіду її реалізації;
- аналізу та синтезу результатів і ретроспективи – для дослідження особливостей, стану розвитку термомодернізації існуючих будівель і споруд в Україні;
- історико-еволюційний та логічний – для здійснення теоретичних узагальнень наукових підходів щодо використання логістичних засад підвищення енергетичної ефективності українських будівель і споруд;
- теорії систем і системного аналізу – для ідентифікації стратегічних перспектив значного скорочення енергоспоживання існуючих українських будівель і споруд та дисемінації отриманих результатів на зарубіжні будівлі і споруди, що мають аналогічні проблеми з енергоефективності.

6. Результати дослідження

Аналіз вищенаведених інформаційних джерел дозволив окреслити ряд невирішених завдань з комплексної термомодернізації житлових споруд і будівель, зокрема, її тандему у складі системи центрального водяного опалення та фасадної теплоізоляції. Це, зокрема, може бути вирішено введенням до складу системи комплексної термомодернізації нових елементів у вигляді нових транзитних трубопроводів двотрубною системою центрального водяного опалення. Не менш важливим завданням є оптимальне розміщення нових транзитних трубопроводів двотрубною системою центрального водяного опалення з прив'язкою до місць розміщення існуючих опалювальних приладів.

Ця прив'язка здійснюється в залежності від багатьох факторів, зокрема, товщини існуючих зовнішніх стін, геометричних параметрів розміщення віконних прорізів, наявності декоративних елементів та зливостоків на зовнішній стіні фасаду, від заданого температурного режиму експлуатації, фізичних і теплотехнічних параметрів, матеріалу виконання і товщини існуючих зовнішніх стін термомодернізуємої будівлі. Не менш важливою є оптимізація конструктивних параметрів і взаємне розміщення нових транзитних трубопроводів двотрубною системою центрального водяного опалення, вибір оптимальної товщини і ефективного матеріалу виконання еквівалентної трубної теплоізоляції.

Вирішення цих завдань щодо термомодернізації, зокрема, дозволить:

- забезпечити можливість обліку і регулювання споживання тепла споживачами з урахуванням експлуатаційних факторів підтримання заданого температурного режиму всередині опалювальних приміщень;
 - збільшити коефіцієнт опору теплопередачі існуючої зовнішньої стіни до мінімально необхідного значення, визначеного відповідно до ДБН;
 - можливість глушіння існуючих труб системи центрального водяного опалення і нескладної заміни опалювальних приладів у випадку такої технічної необхідності без втрати працездатності всієї запропонованої системи центрального водяного опалення;
 - поліпшити гідравлічний режим руху теплоносія і забезпечити можливість застосування як високо-, так і низькотемпературного теплоносія;
 - запобігти замерзанню використовуваного теплоносія навіть при повному припиненні його руху протягом заданого часу;
 - підвищити ефективність використання теплової енергії в запропонованій системі центрального водяного опалення приміщень і знизити витрату теплової енергії на підтримання в житловому приміщенні оптимальних для життєдіяльності температурних умов;
 - буде сприяти підвищенню ефективності процесу комплексної термомодернізації будівель і споруд при нескладності удосконалення системи [47] і реалізації способу [48], до того ж фактично без порушення існуючого ремонту в приміщеннях, розташованих всередині будівель і споруд;
 - застосовувати розроблені інноваційні рішення практично в усіх кліматичних зонах, де виникає необхідність в термомодернізації, особливо житлового фонду, переважно періоду спорудження до 90-х років минулого століття.
- Саме ці зазначені напрями формують вектори подальшого розвитку досліджень.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. У порівнянні з аналогами позитивна дія об'єкта досліджень у вигляді системи термомодернізації на свої внутрішні чинники (складові елементи) полягає в довгостроковій оптимізації організаційних та технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності українських будівель і споруд.

Weaknesses. До слабких сторін пропонованого комплексу організаційно-технічних рішень з термомодернізації можна віднести необхідність початкових капітальних вкладень в систему нових транзитних трубопроводів водяного опалення і в фасадну теплоізоляцію, а також в їх монтаж за місцем розміщення будівель і споруд. Також до слабких сторін пропонованих організаційно-технічних рішень можна віднести їх локальність по відношенню до всієї комплексної системи термомодернізації та відсутність розгляду взаємодії усіх складаючих елементів системи термомодернізації. Адже остання також включає світлопрозорі конструкції, систему автоматики, теплові пункти, теплоелектроцентралі чи поновлювані джерела енергії та інші елементи.

Opportunities. Кінцевим підсумком практичного застосування пропонованого комплексу організаційних та технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності будівель і споруд є отримання прибутку у вигляді зменшення сум комунальних платежів за опалення як для населення, так і для промислових підприємств. Причому це можливо без втручання у вже зроблені ремонти всере-

дині приміщень. Цей прибуток прогнозується отримати приблизно через 2–3 роки в залежності від кількості термомодернізуємих об'єктів.

Threats. Від підприємства чи експлуатуючої організації будуть потрібні початкові капітальні вкладення в систему нових транзитних трубопроводів водяного опалення і в фасадну теплоізоляцію, а також у їх монтаж за місцем розміщення термомодернізуємих будівель і споруд.

Негативна дія на об'єкт дослідження зовнішніх чинників у вигляді зовнішнього середовища обумовлені нормативним терміном експлуатації фасадної теплоізоляції та системи нових транзитних трубопроводів водяного опалення, які залежать від застосовуваних матеріалів і кліматичних зон розміщення термомодернізуємих будівель і споруд. Однак цей термін становить не менше 20 років, що більш ніж достатньо для самоокупності термомодернізації. Пропонований комплекс організаційно-технічних рішень з термомодернізації охороняється патентами України на спосіб і пристрій, а проведений патентно-інформаційний пошук підтвердив їх інноваційність.

8. Висновки

1. Досліджено стан проблеми та проаналізовано наявні організаційні та технічні рішення з підвищення енергетичної ефективності будівель і споруд. Зазначено, що основними недоліками існуючих технічних рішень щодо системи термомодернізації є відсутність ефективного складу, оптимальних геометричних параметрів та неефективне розміщення існуючих елементів системи теплопостачання щодо фасадної стіни.

Також до причин, що перешкоджають підвищенню енергетичної ефективності будівель і споруд, можна віднести складність реалізації технічної процедури модернізації трубопроводів системи центрального водяного опалення. А також необхідність «грубого» втручання в уже існуючі ремонти, виконані всередині будівель і споруд.

2. В якості альтернативи запропоновано:

- введення до складу системи комплексної термомодернізації нових елементів у вигляді нових транзитних трубопроводів двотрубною системою центрального водяного опалення;
- взаємне розміщення нових транзитних трубопроводів з прив'язкою до місць розміщення існуючих опалювальних приладів.

Ця прив'язка повинна враховувати ряд технічних факторів, серед яких:

- товщина, фізичні і теплотехнічні параметри фасадної стіни;
- матеріал виконання існуючих зовнішніх стін будівель і споруд;
- геометричні параметри розміщення віконних прорізів;
- наявність декоративних елементів та зливостоків на зовнішній стіні фасаду;
- заданий температурний режим експлуатації;
- ефективний матеріал виконання та товщина еквівалентної трубної теплоізоляції;
- оптимальна товщина й ефективний матеріал виконання еквівалентної фасадної теплоізоляції.

Література

1. Пурков В. В. *Gidravlichesкое regulirovanie sistem otopeniia i ohlazhdeniia: teoriia i praktika.* Kyiv: Taki spravy, 2010. P. 5.

2. DSTU B V.3.2-3:2014. Nastanova z vykonannia termomodernizatsii zhytlovykh budynkiv. Introduced: 01.10.2015. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2014. 70 p.
3. V termomodernizatsii nuzhdaetsia 80% zhilogo fonda Ukrainy // Informatsionnoe agentstvo LIGABiznesInform. 08.10.2015. URL: <http://biz.liga.net/all/nedvizhimost/novosti/3127248-v-termomodernizatsii-nuzhdaetsya-80-zhilogo-fonda-ukrainy.htm> (Last accessed: 12.01.2018).
4. Isachenko V. P., Osipova V. A., Sukomel A. S. Teploperedacha. Moscow: Energiia, 1975. 423 p.
5. Tytar S. S. Systemy enerhopostachannia promyslovykh pidpriemstv. Odesa: AT BAKhVA, 2002. 356 p.
6. Saviovskii V. V., Bolotskih O. N. Remont i rekonstruktsiia grazhdanskih zdani. Kharkov: Vaterpas, 1999. 287 p.
7. Weglarz A., Gilewski P. G. A Method of Evaluation of Polioptimal Thermo-modernization Schemes of Buildings // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153. P. 862–865. doi:[10.1016/j.proeng.2016.08.194](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.194)
8. Kuzniar K., Zajac M. Numerical evaluation of natural vibration frequencies of thermo-modernized apartment buildings subjected to mining tremors // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 199. P. 296–301. doi:[10.1016/j.proeng.2017.09.039](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.039)
9. Assessment of single-family house thermal renovation based on comprehensive on-site diagnostics / Hurnik M. et al. // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 158. P. 162–171. doi:[10.1016/j.enbuild.2017.09.069](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.069)
10. Zender-Swiercz E., Piotrowski J. Z. Thermomodernization a building and its impact on the indoor microclimate // *Structure and Environment: Architecture, Civil Engineering, Environmental Engineering and Energy*. 2013. Vol. 5, No. 3. P. 37–40.
11. Jaworska-Michalowska M. Ochrona historycznej elewacji w procesie termomodernizacji – wybrane zagadnienia // *Czasopismo Techniczne. Budownictwo*. 2009. Vol. 106, No. 2-B. P. 151–161.
12. Sadowska B., Sarosiek W. Efficiency of raising low-energy buildings and thermomodernization of existing ones // *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*. 2014. Vol. 63, No. 1. P. 179–191.
13. Rutkowska G., Wojnowski D. Analysis of variants thermomodernization of a dwelling house from a point of view of optimal energetic demands // *Inzynieria Ekologiczna*. 2014. Vol. 37. P. 162–173.
14. Lundström L., Wallin F. Heat demand profiles of energy conservation measures in buildings and their impact on a district heating system // *Applied Energy*. 2016. Vol. 161. P. 290–299. doi:[10.1016/j.apenergy.2015.10.024](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.024)
15. Balić D., Maljković D., Lončar D. Multi-criteria analysis of district heating system operation strategy // *Energy Conversion and Management*. 2017. Vol. 144. P. 414–428. doi:[10.1016/j.enconman.2017.04.072](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.072)
16. Kolosov A. E., Virchenko G. A., Kolosova E. P., Virchenko G. I. Structural and Technological Design of Ways for Preparing Reactoplastic Composite Fiber Materials Based on Structural Parametric Modeling // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2015. Vol. 51, No. 7–8. P. 493–500. doi:[10.1007/s10556-015-0075-3](https://doi.org/10.1007/s10556-015-0075-3)
17. Churylo O. V. Sposib rekonstruktsii systemy opalennia budynku: pat. UA 11514 U, MPK F24D3/00, F16L9/00, E04G23/00. Appl. No. u200507560; Filed 29.07.2005; Publ. 15.12.2005, Bull. No. 12.

18. Moulding Prefabricated Wall or Roof Panels. UK Patent applicaton GB 2039819A, Int. Cl. B29D3/02, Publ. 20.08.1980.
19. Tuerk M., assignee: Diedrichsen Jens Dipl. Ing. Building wall insulation section refurbishing and heating older buildings: pat. DE 19740074 A1, Int. Cl. E04B1/78. Publ. 11.03.1999.
20. Jansen H. Two-panel wall cladding section – has heat insulating layer and heating pipe between panels: pat. DE 4031483 A1, Int. Cl. E04B2/72. Publ. 04.07.1991.
21. Hamkokov R. M., Panibratov Yu. P., Krutikov P. G. Sistema teplosnabzheniia mnogoetazhnogo zdaniia: pat. RU 12155 U1, MPK E03S1/04. Publ. 16.12.1999.
22. Kasianov N. M. Sistema teplosnabzheniia mnogokvartirnogo zdaniia s kak minimum odnoi podiezdnoi seksiei: pat. RU 105720 U1, MPK E24D3/00. Publ. 20.06.2011, Bull. No. 17.
23. Kasianov N. M. Sistema teplosnabzheniia mnogokvartirnogo doma: pat. RU 151295 U1, MPK E24D3/02. Publ. 27.03.2015, Bull. No. 9.
24. Orlov D. P. Sposob otopeniia zdanii: pat. RU 2301944 S1, MPK F24D15/00. Publ. 27.06.2007, Bull. No. 18.
25. Robakiewicz M., Panek A. Termomodernizatsiia zhilogo doma. Kyiv, 2014. URL: http://teplydim.com.ua/static/storage/filesfiles/Danfoss_manual_Thermal_Moderniz_2014_Rus.pdf (Last accessed: 12.01.2018).
26. Zender-Swiercz E., Telejko M. Impact of Insulation Building on the Work of Ventilation // Procedia Engineering. 2016. Vol. 161. P. 1731–1737. doi:[10.1016/j.proeng.2016.08.766](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.766)
27. Optimization of Thermal Insulation and Regression Analysis of Fuel Consumption / Lulich H. et al. // Procedia Engineering. 2014. Vol. 69. P. 902–910. doi:[10.1016/j.proeng.2014.03.069](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.069)
28. Image-based thermographic modeling for assessing energy efficiency of buildings façades / González-Aguilera D. et al. // Energy and Buildings. 2013. Vol. 65. P. 29–36. doi:[10.1016/j.enbuild.2013.05.040](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.040)
29. Sierra-Pérez J., Boschmonart-Rives J., Gabarrell X. Environmental assessment of façade-building systems and thermal insulation materials for different climatic conditions // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 113. P. 102–113. doi:[10.1016/j.jclepro.2015.11.090](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.090)
30. Sulakatko V., Lill I., Witt E. Methodological Framework to Assess the Significance of External Thermal Insulation Composite System (ETICS) on-site Activities // Energy Procedia. 2016. Vol. 96. P. 446–454. doi:[10.1016/j.egypro.2016.09.176](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.176)
31. Elarga H., De Carli M., Zarrella A. A simplified mathematical model for transient simulation of thermal performance and energy assessment for active facades // Energy and Buildings. 2015. Vol. 104. P. 97–107. doi:[10.1016/j.enbuild.2015.07.007](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.007)
32. Vox G., Blanco I., Schettini E. Green façades to control wall surface temperature in buildings // Building and Environment. 2018. Vol. 129. P. 154–166. doi:[10.1016/j.buildenv.2017.12.002](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.002)
33. Cvetković D., Bojić M. Optimization of thermal insulation of a house heated by using radiant panels // Energy and Buildings. 2014. Vol. 85. P. 329–336. doi:[10.1016/j.enbuild.2014.09.043](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.043)
34. Modeling of facade elements with switchable U-value / Pflug T. et al. // Energy and Buildings. 2018. Vol. 164. P. 1–13. doi:[10.1016/j.enbuild.2017.12.044](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.044)
35. Investigations on Physical-mechanical Properties of Effective Thermal Insulation Materials from Fibrous Hemp / Kremensas A. et al. // Procedia Engineering. 2017. Vol. 172. P. 586–594. doi:[10.1016/j.proeng.2017.02.069](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.069)
36. Energy performance of a ventilated façade by simulation with experimental validation / Aparicio-Fernández C. et al. // Applied Thermal Engineering. 2014. Vol. 66, No. 1–2. P. 563–570. doi:[10.1016/j.applthermaleng.2014.02.041](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.041)

37. Kolosov A. E., Sivetskii V. I., Kolosova E. P., Lugovskaya E. A. Procedure for analysis of ultrasonic cavitator with radiative plate // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2013. Vol. 48, No. 11–12. P. 662–672. doi:[10.1007/s10556-013-9677-9](https://doi.org/10.1007/s10556-013-9677-9)
38. Klychnikov R. Yu., Ezerskii V. A., Monastyrev P. V. *Tehniko-ekonomicheskaiia otsenka termomodernizatsii zhilyh zdaniy*. Moscow: ASV, 2011. 176 p.
39. Zaitsev D. V., Klymchuk O. A., Balasarian H. A. Analiz osnovnykh sposobiv termomodernizatsii budivel ta metodyka yikh vprovadzhennia // *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy y usatkuvannia*. 2015. Vol. 17. P. 156–160.
40. Borys G. Selected directions of increasing efficiency in supporting thermomodernization in buildings from public funding // *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*. 2015. No. 397. P. 68–77. doi:[10.15611/pn.2015.397.05](https://doi.org/10.15611/pn.2015.397.05)
41. Ickiewicz I. Building thermomodernization and reducing air pollution // *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2013. Vol. 20, No. 4. P. 805–816. doi:[10.2478/eces-2013-0056](https://doi.org/10.2478/eces-2013-0056)
42. Wciślik S. Energy efficiency and economic analysis of the thermomodernization of forest lodges in the Świętokrzyski National Park // *EPJ Web of Conferences*. 2017. Vol. 143. P. 2144. doi:[10.1051/epjconf/201714302144](https://doi.org/10.1051/epjconf/201714302144)
43. Kryk B. Rachunek korzyści ekologicznych z inwestycji termomodernizacyjnych na przykładzie spółdzielni mieszkaniowych województwa zachodniopomorskiego/Account of environmental benefits from thermomodernization investment on the example of cooperative housing of West Pomeranian Voivodeship // *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*. 2016. No. 454. P. 92–101. doi:[10.15611/pn.2016.454.08](https://doi.org/10.15611/pn.2016.454.08)
44. Basinska M., Koczyk H., Kosmowski A. Assessment of Thermo Modernization Using the Global Cost Method // *Energy Procedia*. 2015. Vol. 78. P. 2040–2045. doi:[10.1016/j.egypro.2015.11.204](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.204)
45. Fanti M. P., Mangini A. M., Roccotelli M. A simulation and control model for building energy management // *Control Engineering Practice*. 2018. Vol. 72. P. 192–205. doi:[10.1016/j.conengprac.2017.11.010](https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2017.11.010)
46. Adamczyk J., Dylewski R. Analysis of the sensitivity of the ecological effects for the investment based on the thermal insulation of the building: A Polish case study // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 162. P. 856–864. doi:[10.1016/j.jclepro.2017.06.123](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.123)
47. Yeromin A. V. Systema kompleksnoi termomodernizatsii budivel i sporud za Yerominym: pat UA 121347 U, MPK F24D3/00, F16L59/00. Publ. 27.11.2017, Bull. No. 22.
48. Yeromin A. V. Sposib kompleksnoi termomodernizatsii budivel i sporud za Yerominym: pat UA 121348 U, MPKF24D 3/00, F16L59/00. Publ. 27.11.2017, Bull. No. 22.