

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, провідного наукового співробітника Інституту технічної теплофізики НАН України Гончарук Світлани Михайлівни на дисертаційну роботу “Енергоефективні системи опалення сумісні із сталою комплексною термомодернізацією будівель”, представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії (кандидата технічних наук) Єр'омієм Андрієм Васильовичем за спеціальністю 192-Будівництво та цивільна інженерія (05.23.03-вентиляція, освітлення та теплогазопостачання), 19 - Архітектура та будівництво

Система опалення та теплоізоляційна здатність огорож у більшості будівель, що експлуатуються понад 20 років, не відповідає сучасним вимогам щодо енергозбереження. Існуючі в таких будівлях системи опалення не дозволяють забезпечити гнучкий режим регулювання теплопостачання споживаної теплової енергії. Водночас дуже низькою залишається ефективність використання енергоносіїв для теплопостачання житлових будівель, громадських споруд та промислових об'єктів. В зв'язку з постійним зростанням цін на енергоресурси суттєвими залишаються витрати на опалення (незалежно від способу). Час роботи опалювального пристрою, а разом з ним і витрати на нього, безпосередньо залежать від тепловтрат приміщення. Вирішенню саме цих нагальних питань присвячено дану дисертаційну роботу. *Актуальною науково-технічною проблемою, що вирішується в роботі є розробка теорії і практики сталого розвитку енергоефективних систем опалення для сумісної комплексної термомодернізації будівлі.*

Мета роботи полягає у теоретичному та експериментальному обґрунтуванні удосконаленої енергоефективної системи опалення, сумісної із сталою комплексною термомодернізацією будівлі.

Для досягнення поставленої мети автором визначені важливі *завдання дослідження*, що полягають у:

- проведенні критичного аналізу літературних джерел і патентних досліджень існуючих і перспективних систем опалення, їх конструктивних особливостей і способів відновлення при комплексній термомодернізації будівлі;

- розробленні теплофізичної моделі теплоперенесення через багатошарову стінку зовнішнього огороження із внутрішніми джерелами теплоти, утвореними вертикальними подавальним і зворотнім трубопроводами з теплоносієм двотрубною системою опалення;

- дослідженні впливу розробленої теплофізичної моделі теплоперенесення через багатошарову стінку зовнішнього огороження із внутрішніми джерелами теплоти (утвореними вертикальними подавальним і зворотнім трубопроводами з теплоносієм двотрубною системою опалення) на інтенсивність зміни теплової інерції створеної конструкції стінки зовнішнього огороження;

- проведенні експериментальних досліджень теплопередачі та теплової інерції через зовнішнє стінове огороження із внутрішніми джерелами теплоти, утвореними вертикальними подавальним і зворотнім трубопроводами з теплоносієм двотрубною системою опалення з метою верифікації отриманих експериментальних і теоретичних даних;

- розробленні методики інженерного розрахунку енергоефективної системи опалення, сумісної із сталюю комплексною термомодернізацією будівлі;

- проведенні техніко-економічного обґрунтування від впровадження енергоефективних систем опалення, сумісних із сталюю комплексною термомодернізацією будівлі.

Об'єктом дослідження визначено енергоефективні системи опалення, сумісні із сталюю комплексною термомодернізацією будівлі, а *предметом* – нестационарні процеси теплопровідності та теплової інерції за граничних умов першого роду (теплопровідність) через багат шарову стінку зовнішнього огороження із внутрішніми джерелами теплоти, утвореними вертикальними подавальним і зворотнім трубопроводами двотрубною системою опалення з теплоносієм.

В роботі застосовано *методи* чисельного моделювання (теоретичні) та лабораторних й натурних досліджень (експериментальні) на основі сучасних теорій постановки, планування експериментальних досліджень, виконання, математичної обробки, статистики і отримання достовірних даних результатів теплофізичного експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів, в основному полягає у теоретичному обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні удосконаленої енергоефективної системи опалення, сумісної із сталюю комплексною термомодернізацією будівлі.

При цьому:

- розроблено фізико-математичну модель теплопровідності за граничних умов першого роду (теплопровідність) через конструкцію багат шарової різношарової стінки зовнішнього огороження із внутрішнім джерелом теплоти у вигляді вертикальних подавального і зворотного трубопроводів системи опалення із теплоносієм, водою, в середині них;

- теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено підвищення до 20% теплової інерції запропонованої конструкції стінки зовнішнього огороження із збереженням відносно сталої температури по товщині конструкції при різких періодичних змінах зовнішніх теплових впливів, особливо при мінімальних температурах навколишнього середовища та величини інтенсивності сонячного випромінювання;

- удосконалено методику експериментальних досліджень теплопровідності за граничних умов першого роду (теплопровідність) через конструкцію багат шарової різношарової стінки зовнішнього огороження із внутрішнім джерелом теплоти у вигляді вертикальних подавального і зворотного трубопроводів системи опалення із теплоносієм, водою, в середині них суміщену із дослідженнями теплової інерції запропонованої конструкції стінки.

Набули подальшого розвитку: наукове обґрунтування сталої комплексної термомодернізації будівель на основі енергоефективних систем опалення, сумісних із сталою зміною конструкції стінки зовнішнього огороження, та наукове обґрунтування впливу підвищення теплової інерції будівлі на приріст енергетичної, екологічної та експлуатаційної ефективності джерела теплоти і системи опалення в цілому.

Практична цінність одержаних результатів полягає у:

- теоретичному доведенні та експериментальному підтвердженні удосконаленої енергоефективної системи опалення (заміни однотрубною системою опалення на двотрубну), сумісної із сталою комплексною термомодернізацією будівлі, на основі зовнішнього утеплення будівлі;
- створенні методики експериментального дослідження із способом встановлення датчиків вимірювання температур, що може бути використана для удосконалення підсистеми автоматизації системи опалення;
- розробленні методики інженерного розрахунку комплексної термомодернізації із облаштуванням зовнішнього утеплення та вертикальними трубопроводами системи опалення в середині конструкції;
- досягненні підвищення сезонного енергетичного коефіцієнта корисної дії джерела теплоти до 8-10% при використанні розробленої технології комплексної термомодернізації.

До практичної значимості даної роботи слід віднести, що автором було отримано два патенти України на винаходи (Система та спосіб комплексної термомодернізації будівель і споруд за Єрьоміним), здійснено техніко-економічний аналіз оцінки ефективності від впровадження розробленої технології комплексної термомодернізації будівлі з отриманим річним економічним ефектом 250 грн. на один м² зовнішнього стінового огороження будівель забудови 60-90тих років (за цінами 2020р.), а також проведено впровадження результатів дисертаційної роботи при технічному переоснащенні системи опалення адміністративної будівлі Чугуївської районної державної адміністрації Харківської області.

Крім того, результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі Київського національного університету будівництва і архітектури при викладанні таких навчальних дисциплін: тепломасообмін, будівельна теплофізика, опалення, теплопостачання, джерела теплоти.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні теми, мети та вирішенні основних теоретичних та експериментальних завдань, які поставлені в роботі. За безпосередньої участі автора виконано теоретичні та експериментальні дослідження, розвинуто наукові основи застосування інноваційних технологій при термомодернізації будівель. Авторіві належать основні ідеї опублікованих праць, отриманих охоронних документів, а також аналіз та узагальнення результатів роботи.

Структура дисертації науково обґрунтована й логічно вибудована. Вона складається з анотації, списку опублікованих праць за темою дисертації, змісту, переліку умовних позначень та скорочень, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних літературних

джерел та додатків. Текст наведений на 165 сторінках комп'ютерного набору, містить 27 рисунків, дві таблиці.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і основні завдання досліджень, встановлено об'єкт, предмет та методи дослідження, визначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Приведено відомості про особистий внесок автора, апробацію, опубліковані результати, структуру та обсяг роботи.

У *першому* розділі виконано аналіз літературних джерел та пошук патентних досліджень, що присвячені існуючим і перспективним системам опалення, їх конструктивних особливостей і способів суміщення при комплексній термомодернізації будівлі. Наведена функціонально-системна структура енергозбереження, показано динаміку зростання українських нормативних мінімально допустимих значень опору теплопередачі зовнішніх стінових огорожувальних конструкцій житлових й громадських будівель протягом 1980-2020 рр, а також їх порівняння на сьогодні з європейськими країнами.

Проаналізовано фізико-математичне моделювання теплоперенесення через зовнішні стінові огороження будівлі, експериментальні дослідження теплофізичних характеристик зовнішньої стінової огорожувальної конструкції та техніко-економічні аспекти термомодернізації житлових будівель.

Встановлено, що вирішення комплексних завдань щодо термомодернізації, зокрема, дозволить:

- забезпечити можливість обліку і регулювання споживання теплоти споживачами з урахуванням експлуатаційних факторів підтримання заданого температурного режиму всередині опалювальних приміщень;

- збільшити значення опору теплопередачі існуючої зовнішньої стіни до мінімально необхідного, визначеного відповідно до норм, вимоги до яких постійно зростають;

- унеможливити можливість виведення із експлуатації труб існуючих систем опалення і нескладної заміни опалювальних приладів у випадку такої технічної необхідності без втрати працездатності всієї системи;

- 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 енергетичну ефективність використання теплової енергії в запропонованій системі центрального водяного опалення приміщень і знизити витрату теплоти на підтримання в житловому приміщенні оптимальних для життєдіяльності температурних умов;

- підвищити ефективність процесу комплексної термомодернізації будівель і споруд при нескладності удосконалення системи;

- застосовувати розроблені інноваційні рішення практично в усіх кліматичних зонах, де виникає необхідність сталої термомодернізації,

особливо житлового фонду, переважно періоду спорудження 60-90их років минулого століття.

Другий розділ присвячено теоретичним дослідженням теплопровідності через конструкцію багатошарової різнорідної стінки зовнішнього огороження із суміщеними вертикальними теплопроводами всередині її.

Виконано фізико-математичне моделювання процесів теплоперенесення у товщі стінового огороження із внутрішнім джерелом теплоти у вигляді вертикальних подавального і зворотного трубопроводів на основі розроблених інноваційних технічних рішень з термомодернізації будівель і споруд для різних кліматичних умов. За отриманими результатами проведеного теплофізичного моделювання досліджено розподіл температури всередині будівельної конструкції, температури на поверхні фасадної теплоізоляції при варіюванні її товщини за різних форм виконання штроб, у яких розташовуються нові трубопроводи двотрубної системи центрального водяного опалення. Встановлено, що розміщення цих трубопроводів у нових штробах, виконаних в існуючих зовнішніх стінах, дозволяє знизити до 74 % теплові втрати від цих трубопроводів у порівнянні з розміщенням в шарі фасадної теплоізоляції з боку стіни. Також досліджено залежність часу охолодження теплоносія при повному припиненні його руху по трубопроводах від діаметра цих трубопроводів. Отримана оптимальна величина шару фасадної теплоізоляції, яка складає 100 мм, що захищає від замерзання теплоносія у трубопроводах при повній зупинці його руху при експлуатаційних режимах.

Обґрунтовано конструкції прокладання вертикальних подавального і зворотного трубопроводів системи опалення у товщі конструкції стіни, що утепляється, в штробах різної геометричної форми та у товщі із зовнішньої поверхні стіни або внутрішньої поверхні теплової ізоляції.

У *третьому* розділі описано основні особливості створеного експериментального стенду для визначення теплофізичних параметрів конструкції зовнішнього огороження будівлі, який складається з восьмиканалних вимірювачів Регмік 8м-РГ, вторинного приладу для датчику теплового потоку, відповідної кількості датчиків вимірювання температури по товщі стінової огорожі та датчику густини теплового потоку, з'єднаннями для комутації та фіксуючого засобу (з монітором). Розроблено методику експериментального дослідження на основі повного факторного експерименту із зміною факторів – температури та товщини шару конструкції. Встановлено, що для будівель забудови 60-90их років перед виконанням комплексних заходів з їх термомодернізації необхідно експериментально визначати фактичне значення еквівалентного коефіцієнта теплопровідності конструкції огороження та запропоновано уточнену методику його визначення.

Досліджено вплив додаткового облаштування в товщі стіни вертикальних падаючого та зворотного трубопроводів системи опалення з теплоносієм водою на підвищення теплової інерції конструкції. Визначено що підвищення теплової інерції запропонованої конструкції зовнішнього

стінового огороження до 15-20% сприяє підвищенню енергетичної ефективності джерела теплоти на 8-10 % за рахунок згладжування піків теплового навантаження і відповідно прискорень-сповільнень (ривків) роботи пального теплогенератора або іншого джерела теплоти.

Четвертий розділ присвячений розробленні методики інженерного розрахунку та виконанні техніко-економічного аналізу системи опалення з вертикальними теплопроводами з теплоносієм водою у товщині стіни зовнішнього огороження термомодернізованої будівлі.

Удосконалено методику інженерного розрахунку теплотехнічних та гідравлічних характеристик систем опалення, сумісних із сталюю комплексною термомодернізацією будівель.

Приведено техніко-економічне обґрунтування від впровадження енергоефективних систем опалення, сумісних із сталюю комплексною термомодернізацією будівлі з річним економічним ефектом 250 грн. на один м² зовнішнього стінового огороження будівель забудови 60-90 тих років (за цінами 2020р.).

До тексту дисертації за змістом та по суті є такі зауваження:

1) Не зрозуміло, яким чином відбуватимуться ремонтні роботи (при виникненні відповідної потреби) вертикального подавального/зворотного трубопроводів системи опалення з теплоносієм водою у товщині стіни зовнішнього огороження термомодернізованої будівлі?

2) Другий розділ, що стосується фізико-математичного моделювання процесів теплоперенесення у товщі стінового огороження із внутрішнім джерелом теплоти у вигляді вертикальних подавального і зворотного трубопроводів на основі розроблених інноваційних технічних рішень з термомодернізації будівель і споруд для різних кліматичних умов, починається з літературного огляду існуючих систем комплексної термомодернізації будівлі. На мою думку, дану інформацію варто було б згрупувати в Розділі 1 (підрозділ 1.1), в якому також приводився даний аналіз.

3) На рис. 2.1 Загальна схема досліджуваної системи комплексної термомодернізації будівель і споруд відсутнє відображення позицій: 1-5, 12 та 13, а в позначенні до даного рисунку вони присутні.

4) Що стосується аналізу проведених теоретичних досліджень фізико-математичного моделювання процесів теплоперенесення у товщі стінового огороження із внутрішнім джерелом теплоти у вигляді вертикальних подавального і зворотного трубопроводів на основі розроблених інноваційних технічних рішень з термомодернізації будівель і споруд для різних кліматичних умов, виникає питання: чи вплине на отримані результати орієнтація будівлі по сторонам світу за рахунок додаткового надходження теплоти на поверхню фасаду від сонячного випромінювання?

5) Крім того, при кріпленні теплоізоляційних шарів, а також формуванні штроб для укладання подавального та зворотного трубопроводів,

утворюються мікрощілинні отвори, які можуть суттєво вплинути на результати наведеної роботи. Варто було б приділити увагу даному ефекту.

6) Бажано було б проаналізувати, чи не призведе до порушення тримальної здатності стінової огорожувальної конструкції при реалізації штроб для облаштування подавального та зворотного трубопроводів в стіні, а не в теплоізоляційному шарі? Варто було б приділити увагу врахуванню обмеження по глибині штроблення.

7) Слід було провести верифікацію розробленої теплофізичної моделі з дослідження теплоперенесення в огорожувальній конструкції при комплексній термомодернізації з застосуванням суміщеної системи утеплення з системою опалення.

8) В роботі зазначається, що за техніко-економічного обґрунтування від впровадження енергоефективних систем опалення, сумісних із сталюю комплексною термомодернізацією будівлі, з річним економічним ефектом 250 грн. на один м² зовнішнього стінового огороження будівель забудови 60-90тих років (за цінами 2020р.), а також вказується, що очікуваний прибуток від впровадження зазначеної технології прогнозується отримати приблизно через 2–3 роки в залежності від кількості термомодернізуємих об'єктів. Але не приводяться самі розрахунки, щодо впровадження новітньої системи опалення у порівнянні із традиційними і в поєднанні із утепленням зовнішніх стін огороження.

Дисертаційна робота написана державною мовою. Інколи зустрічаються незначні друкарські помилки. Структура, зміст і обсяг дисертації відповідає встановленим вимогам і являє собою завершену структуровану науково - дослідну роботу з поєднанням прикладних теоретичних і експериментальних досліджень.

За текстом дисертації є посилання на усі літературні джерела. Текст дисертації читається легко і зрозуміло.

До переважаючої, сильної, сторони роботи необхідно віднести запропоновані проектні та конструкторсько-технологічні енергоефективні рішення щодо здійснення термомодернізації будівель і споруд, що передбачає модернізацію системи центрального водяного опалення, сумісну із фасадною теплоізоляцією, які в свою чергу захищені двома патентами України на винаходи:

1) Патент на винахід. Система комплексної термомодернізації будівель і споруд за Єрьоміним. UA № 121347U, МПК F24D3/00, F16L59/00 / А. В. Єрьомін. – Опубл. 27.11.2017, Бюл. №22;

2) Патент на винахід. Спосіб комплексної термомодернізації будівель і споруд за Єрьоміним. UA № 121348U, МПК F24D 3/00, F16L59/00 / А. В. Єрьомін. – Опубл. 27.11.2017, Бюл. №22.

Висновки дисертації є достатньо обґрунтованими і мають високу цінність для розробки теорії і практики сталого розвитку енергоефективних систем опалення при сумісній комплексній термомодернізації будівлі.

Вказані зауваження не знижують, в цілому, якість наукових досліджень та отриманих результатів. Дисертація повністю відповідає встановленим вимогам щодо отримання наукового ступеня доктора філософії, а автор Єрємін Андрій Васильович заслуговує присвоєння йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192–Будівництво та цивільна інженерія (кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03–Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.), 19 - Архітектура та будівництво.

Офіційний опонент,
Провідний науковий співробітник
відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій
Інституту технічної теплофізики НАН України,
кандидат технічних наук

С.М. Гончарук

