

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію “Енергоефективні системи опалення сумісні із сталюю комплексною термомодернізацією будівель”, представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії (кандидата технічних наук)

ЄРЬОМІНА АНДРІЯ ВАСИЛЬОВИЧА

за спеціальністю

192 – Будівництво та цивільна інженерія

(05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання)

Дисертаційне дослідження присвячене вирішенню актуальної науково-технічної проблеми - удосконалення енергоефективної системи опалення у сучасному будівництві на основі розташування подавального і зворотного вертикальних трубопроводів у товщині стінової конструкції зовнішнього огородження.

Мета роботи полягає в теоретичному і експериментальному обґрунтуванні удосконаленої енергоефективної системи опалення сумісної із сталюю комплексною термомодернізацією будівлі. *Об'єкт* дослідження – енергоефективні системи опалення сумісні із сталюю комплексною термомодернізацією будівлі. *Предмет* – нестационарні процеси теплопровідності та теплової інерції за граничних умов першого роду через багат шарову стінку зовнішнього огородження із внутрішніми джерелами теплоти, утвореними вертикальними подавальним і зворотнім трубопроводами двотрубною системи опалення з теплоносієм. У роботі застосовано сучасні фізико-математичні та експериментальні *методи* теоретичних досліджень нестационарних процесів теплопровідності за граничних умов першого роду через багат шарову стінку зовнішнього огородження із внутрішніми джерелами теплоти, утвореними вертикальними подавальним і зворотнім трубопроводами з теплоносієм двотрубною системи опалення. *Методи* чисельного моделювання, експериментальних лабораторних та натурних досліджень на основі сучасних теорій постановки,

виконання, математичної обробки і отримання достовірних даних результатів теплофізичного експерименту. *Вірогідність отриманих результатів*, їх аналіз, висновки та рекомендації зумовлені задовільною збіжністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень. *Наукова новизна* отриманих результатів полягає у теоретичному обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні удосконаленої енергоефективної системи опалення сумісної із сталою комплексною термомодернізацією будівлі. Вперше розроблено фізико-математичну модель теплопровідності за граничних умов першого роду через конструкцію багатосарової різнорідної стінки зовнішнього огороження із внутрішнім джерелом теплоти у вигляді вертикальних подавального і зворотного трубопроводів системи опалення із теплоносієм, водою, в середині них, теоретичного обґрунтування і експериментального підтвердження підвищення до 20 % теплової інерції запропонованої конструкції стінки зовнішнього огороження із збереженням відносно вищої і сталої температури у товщі конструкції при періодичних різких змінах зовнішніх теплових впливів, особливо при мінімальних температурах навколишнього середовища, або інтенсивності сонячного випромінювання. *Удосконалено* методика експериментальних досліджень теплопровідності за граничних умов першого роду через запропоновану конструкцію багатосарової різнорідної 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 стіни зовнішнього огороження та підвищення теплової інерції будівлі та енергетичної, екологічної і експлуатаційної ефективності джерела теплоти і системи опалення в цілому. *Практична цінність* одержаних результатів полягає у наступному: теоретично доведено та експериментально підтверджено

енергоефективність комплексної термомодернізації будівлі на основі зовнішнього утеплення будівлі та заміни однотрубною системою опалення на двотрубну; теоретично отримані рівняння теплопровідності та зміни температури по товщині огорожувальної стінки із розташуванням у її товщі вертикальних падаючого та зворотного трубопроводів з теплоносієм водою; методика експериментального дослідження із способом встановлення датчиків вимірювання температур може бути використана для удосконалення підсистеми автоматизації системи опалення; розроблено методику інженерного розрахунку комплексної термомодернізації із облаштуванням зовнішнього утеплення та вертикальними трубопроводами системи опалення в середині конструкції; за результатами розробленої технології термомодернізації досягається підвищення сезонного енергетичного коефіцієнта корисної дії джерела теплоти до 8-10%; виконано техніко-економічний аналіз оцінки ефективності від впровадження розробленої технології комплексної термомодернізації будівлі з отриманим річним економічним ефектом 250 грн. на один м² зовнішнього стінового огородження будівель забудови 60-90 тих років (за цінами 2020р.).

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 в термомодернізації будівель. Авторіві належать основні ідеї опублікованих праць, отриманих охоронних документів, а також аналіз та узагальнення результатів роботи. Дисертаційні дослідження, наукові результати автором отримані самостійно.

За матеріалами дисертації опубліковано 4 наукові роботи, в тому числі дві статті у фахових виданнях України, одна у міжнародних виданнях, одні тези доповідей на міжнародних конференціях, одержано два патенти України на винаходи.

Структура та обсяг дисертації – вступ, чотири розділи, основна частина, загальні висновки, список використаних літературних джерел із 137 найменувань та два додатки. Текст наведений на 165 сторінках комп'ютерного набору, містить 27 рисунків, дві таблиці.

У **вступі** дисертації обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, предмет і об'єкт дослідження. Зазначені положення, що визначають наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, вказаний особистий внесок здобувача і надано інформацію про апробацію результатів дослідження.

У **першому** розділі проаналізовано літературні джерела і виконано патентні дослідження енергоефективних систем опалення сумісних із сталюю комплексною термомодернізацією будівель серій типової забудови 60-90 тих років. Розглянуто структуру енергозбереження у контексті інфраструктури міст, керуючих і керованих факторів в цілому та термомодернізації будівель зокрема. Встановлено, що основними керованими факторами, які суттєво впливають на ефективність термомодернізації є утеплення елементів огороження будівлі та реконструкція інженерних систем життєзабезпечення, з яких найбільш енергоємними та такими, що становлять критичні технічні та соціальні ризики є системи опалення. Встановлено, що визначальним на ефективність теплового захисту будівлі є вплив теплопровідності через конструкцію багатошарової огорожувальної стінки, яка не суттєво може змінюватись від сумісних явищ повітропроникнення і паропроникнення та перевіряється на критичність їх впливу. При цьому, в кожному окремому випадку необхідно проводити теплофізичний аналіз теплопровідності та масообміну на основі величини та напрямів градієнта температури, і градієнта концентрацій в залежності від величини густини теплового потоку та баро-, термо- і молярних дифузії. Для нестационарних процесів теплопровідності через зовнішнє огороження під дією зовнішніх впливів, які динамічно змінюються (різке зниження температури або зміна інтенсивності сонячного випромінення) суттєвого значення набуває явище теплової інерції будівельної конструкції зовнішнього огороження

(акумуляційна здатність), величина якої безпосередньо впливає на енергетичну ефективність роботи джерела теплоти (котлоагрегат, тепловий насос, тепловий пункт) через різке прискорене збільшення або зменшення виробництва теплоти і подачу її у систему опалення. Встановлено також, що реальні значення теплофізичних параметрів (теплопровідність, теплоємність, густина) конструкції стінового огороження будівель забудови 60-90их років не можливо встановити без інструментальних їх вимірювань часто через не відповідність проектній документації та зміні властивостей з часом. Проаналізовано методи і методики на яких ґрунтуються експериментальні дослідження теплофізичних характеристик шарів структури конструкції зовнішнього огороження. Встановлено вплив кількості і якості вимірювань теплофізичних величин на реальні значення теплопровідності і теплової інерції. Проаналізовано модернізацію інженерних систем життєзабезпечення будівель.

У **другому** розділі проведено теоретичні дослідження теплопровідності через конструкцію багатошарової різнорідної стінки зовнішнього огороження із суміщеними вертикальними теплопроводами всередині її. 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 зовні поверхні стіни або внутрішньої поверхні теплової ізоляції і які сумісні із комплексною термомодернізацією будівлі. Розроблено фізико-математичну модель теплопровідності за граничних умов першого роду через багатошарову різнорідну стінку зовнішнього огороження із внутрішнім джерелом теплоти у вигляді вертикальних падаючого і зворотного трубопроводів системи опалення на основі системи диференційних і алгебраїчних рівнянь теплопровідності. Коректно задано початкові і граничні умови та розв'язано чисельним методом поздовжньо-поперечної прогонки багатовимірну задачу теплопровідності. Алгоритм розв'язання було реалізовано в обчислювальному комплексі ANSYS. Встановлено, що табличні значення коефіцієнтів теплопровідності стінових конструкційних будівельних матеріалів можуть відрізнятись більше ніж у два

рази від фактичних значень через неоднозначність, не однорідність та старіння відповідного матеріалу і потребують їх експериментально-лабораторного дослідження для ефективної термомодернізації.

У **третьому** розділі виконано комплекс експериментальних досліджень теплопровідності через конструкцію стіни зовнішнього огороження старої будівлі з метою визначення фактичних значень коефіцієнтів теплопровідності шарів та їх верифікації із теоретичними табличними значеннями. Розроблено методику експериментального дослідження на основі повного факторного експерименту із зміною факторів – температури та товщини шару конструкції. Підбрано і використано засоби вимірювань температури і густини теплового потоку з однаковими класами точності та виконано статистичний аналіз отриманих експериментальних даних. Досліджено вплив додаткового облаштування в товщі стіни вертикальних падаючого та зворотного трубопроводів системи опалення з теплоносієм водою на підвищення теплової інерції конструкції. Отримано поправкові коефіцієнти для визначення фактичних значень коефіцієнтів теплопровідності матеріалів конструкції стіни, та на їх основі проведено верифікацію теоретичних та експериментальних даних. Встановлено 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 пальника теплогенератора або іншого джерела теплоти.

У **четвертому** розділі розроблено методику інженерного розрахунку та виконано техніко-економічний аналіз системи опалення з вертикальними теплопроводами з теплоносієм водою у товщині стіни зовнішнього огороження термомодернізованої будівлі. Виконано техніко-економічне обґрунтування від впровадження енергоефективних систем опалення сумісних із сталою комплексною термомодернізацією будівлі з річним економічним ефектом 250 грн. на один м² зовнішнього стінового огороження будівель 60-90-их років.

У дисертаційному дослідженні теоретично і експериментально обґрунтовано удосконалення енергоефективної системи опалення на основі розташування подавального і зворотного вертикальних трубопроводів системи опалення з теплоносієм - водою у товщині стінової конструкції зовнішнього огороження між зовнішньою поверхнею стіни і внутрішньою - утеплювача та сумісною із сталюю комплексною термомодернізацією будівлі.

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

1. В анотації до дисертаційного дослідження необхідно чітко зазначити чи підвищення теплової інерції запропонованої конструкції стінки зовнішнього огороження відбувається до 10% чи до 15-20%, із збереженням відносно вищої і сталої температури у товщі конструкції при періодичних різких змінах зовнішніх теплових впливів, особливо при мінімальних температурах навколишнього середовища, або інтенсивності сонячного випромінювання. Не ясне обґрунтування вказаних числових значень.
2. У першому розділі не повною мірою здійснено патентні дослідження існуючих і перспективних систем опалення, що зазначено в завданнях до роботи, а також тут не варто дублювати мету і завдання.
3. У висновках другого розділу зазначено, що була здійснена оптимізація взаємного розміщення нових транзитних трубопроводів з прив'язкою до місць розміщення існуючих опалювальних приладів, проте з тексту не зрозуміло, які для цього були використані методи.
4. У третьому розділі багато уваги приділено опису методів розрахунку похибок та статистичного опрацювання результатів досліджень, проте не наведено математичне планування проведення поданих в роботі експериментів та їх опрацювання.
5. У наведеній у четвертому розділі методиці інженерних розрахунків теплових і гідравлічних характеристик систем опалення, автор не чітко виділив власний вклад.


б. До тексту роботи є зауваження орфографічного, граматичного і стилістичного характеру.

Достовірність отриманих результатів у теоретичних та експериментальних дослідженнях статистично доведено. За текстом дисертації є посилання на літературні джерела. Структура, зміст і обсяг дисертації відповідає встановленим вимогам і являє собою завершену структуровану науково - дослідну роботу, яка поєднує прикладні, теоретичні та експериментальні дослідження за результатами яких отримано нові науково обґрунтовані висновки по роботі комбінованої системи опалення.

Висновки наведені в дисертації є достатньо обґрунтованими.


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 19 – Архітектура та будівництво (кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.)

Офіційний опонент,
професор кафедри «Теплогазопостачання
та вентиляція» Національного університету
«Львівська політехніка»
доктор технічних наук, доцент

 С. П. Шаповал

Підпис д.т.н., доц. Шаповала С.П. засвідчую,
Вчений секретар Національного університету
«Львівська політехніка», к.т.н., доц.



 Р.Б. Брилинський