

ВІДГУК

офіційного опонента

Баска Бориса Івановича

на дисертаційну роботу **Висоцької Марії Володимирівни**

**"Теплохолодопостачання на основі трансформації інтегрованої енергії
холодної води та вентиляційного повітря",**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання

I. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

В умовах дефіциту та високої вартості паливно-енергетичних ресурсів і вимог енергетичної стратегії в Україні на період до 2035 року особливого значення набуває проблема суттєвого підвищення ефективності систем теплохолодопостачання будівель на основі відновлюваних та вторинних низькотемпературних джерел. Аналіз вітчизняних та зарубіжних науково-технічних досягнень за останні роки вказує на підвищену зацікавленість до пошуку нових низькотемпературних джерел та шляхів їхнього інтегрованого використання в теплонасосних системах теплохолодопостачання. Вельми перспективним виглядає подальше вдосконалення теплонасосних технологій в південних регіонах України на основі сумісного використання енергії холодної води та утилізованої теплоти вентиляційного повітря в будівлях.

В нинішній час вирішення питань енергетичної ефективності обумовлюють нові вимоги до сучасних та перспективних систем теплохолодопостачання будівель, перш за все, в напрямку зниження витрати органічного палива. Для цього необхідний науково обґрунтований підхід до розробки систем теплохолодопостачання будівель з інтегрованим використанням енергії вхідної холодної води та утилізованої теплоти повітряних потоків. Аналіз відомих систем тепlopостачання на основі енергії повітряних та водних потоків різного походження вказує на різноваріантність відповідних технічних рішень. При цьому для них відсутня необхідна інформація щодо створення та визначення ефективності систем теплохолодопостачання в процесах інтегрованого їх застосування, відсутня також теоретична і прикладна розрахункова основа для їх інженерної розробки.

З вище зазначеного очевидно, що тема дисертаційної роботи, яка передбачає розробку нових науко-прикладних принципів створення систем гарячого водопостачання та охолодження будівель в процесах інтегрованого використання енергії води системи холодного водо забезпечення та утилізованої теплоти повітряних потоків для підвищення енергоефективності зазначених систем, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з планами держбюджетної тематики Одеської державної академії будівництва та архітектури і замовлення Міністерства освіти і науки України.

Метою роботи є наукове обґрунтування впровадження енергоефективних систем теплохолодопостачання будівель на основі інтегрованої енергії води системи ХВП та вентиляційних повітряних потоків на основі термотрансформаторних процесів з використанням теплонасосних установок.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити відповідні завдання, які детально зазначені в роботі.

Об'єктом дослідження є системи відбору, трансформації та ефективного споживання енергії низькотемпературних джерел в теплонасосних системах теплопостачання.

Предметом дослідження є закономірності теплогідравлічних процесів в технології теплохолодопостачання на основі використання вхідної води і повітряних потоків, в тому числі вентиляційного повітря.

Методика і методи дослідження. В роботі використано комплексний метод теоретичного дослідження на підставі відомих та апробованих залежностей для теплонасосних систем з вирішення задач оцінювання впливу вхідних та режимних параметрів запропонованої системи теплохолодопостачання; експериментальні дослідження на підставі методів виконання та оброблення їх результатів з використанням сучасної вимірювальної техніки для верифікації отриманих теоретичних результатів.

Нові наукові результати полягають в наступному:

– науково обґрунтовано доцільність використання води системи ХВП на вводі будівель як низькотемпературного джерела для теплонасосних систем теплопостачання інтегровано з теплою вентиляційного повітря в процесі його охолодження, отримана залежність для сезонної зміни температури води;

– удосконалено математичну модель стабілізації пневмогідравлічного режиму в теплонасосній установці та отримано аналітичну закономірність демпфіруючих змін витрат повітря в умовах зниження тиску води при подальшому проходженні її через випарник і конденсатор та абонентські підсистеми;

– набула подальшого розвитку модель процесів та дійсних коефіцієнтів перетворення енергії енергетичних потоків в удосконаленій системі на основі інтегрованого низькотемпературного джерела, яка дозволяє прогнозовано аналізувати раціональні умови роботи структурних підсистем.

Практичну цінність становлять наступні результати дослідження:

Запропоновано та обґрунтовано новий підхід до створення теплонасосних систем теплохолодопостачання з дворівневим нагріванням води на основі

інтегрованого низькотемпературного джерела, а саме теплоти, яка утилізується з повітряних та вхідних водних потоків на ввіді в будівлю. Це дозволяє розробляти високоефективні системи енергоспоживання. Розроблена система теплохолодопостачання на базі інтегрованої енергії холодної води та повітряних потоків з пневмогідравлічною стабілізацією термотрансформаторних процесів дозволяє підвищити їхню енергоефективність. Встановлені залежності зміни температури основного низькотемпературного нагріву води та її догрівання у форконденсаторі, а також оцінювання економії палива від параметрів і режимних умов інтегрованого низькотемпературного джерела та абонентського теплоспоживання, які дозволяють створювати енергоефективні системи гарячого водопостачання та охолодження будівель.

Основні положення та результати проведених досліджень впроваджено в ТОВ «Одесакомунекологія», а також в навчальний процес кафедри теплогазопостачання і вентиляції Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Особистий внесок здобувача полягає в одержанні наукових та теоретичних положень в розвитку енергозберігаючих систем на основі холодної води і повітряних потоків в теплонасосних підсистемах, а також практичні рекомендації для підвищення ефективності - запропоновані і розроблені автором особисто. Автором проведено аналіз стану науково-технічної проблеми, на його підставі запропоновано та створено нову технологію вдосконалення систем теплохолодопостачання, в тому числі моделі теоретичного опису для подальшого їх дослідження.

Апробація роботи і достовірність результатів. Основні результати та головні положення дисертаційної роботи доповідалися: на науково-технічних конференціях Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2015-2017 р.р. (Україна, м. Одеса);

Міжнародній науково - практичній конференції «ЕНЕРГОІНТЕГРАЦІЯ - 2015», (Україна, м. Київ, 2015); Міжнародній науково - технічній конференції «Екокомфорт», 2016 р. (Україна, м. Львів); Міжнародній науково – практичній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології», 2017 р. (Україна, м. Одеса, ОНАХТ); Міжнародній науково – практичній конференції «Проблеми екології та енергоефективність у сучасному будівництві», 2016р. (Азербайджан, м. Баку); міжнародній науково - технічній конференції «Казахстан – холод 2018», 2018 р., (Казахстан, м. Алмати).

Мова та стиль роботи. Дисертаційна робота і автореферат в основному написані державною мовою, але із деякими помарками термінологічного характеру, а виклад змісту послідовний, який відповідає вимогам до друкованих праць. Текст роботи повністю відтворює результати наукових досліджень. При

викладені тексту застосовується, в основному, сучасна наукова і лексична термінологія.

Публікації та автореферат. Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано в 8 друкованих роботах, з них у 5 фахових виданнях, 1 у міжнародному виданні та 2 патенти України на винаходи. Автореферат кандидатської дисертації за змістом в цілому відповідає дисертаційній роботі.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 147 найменувань та 2 додатків. Вона викладена на 136 сторінках основного тексту, включаючи 44 рисунків, 2 таблиці, всього 177 сторінок.

I. АНАЛІЗ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Загальна характеристика роботи

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформулювало науково-прикладну задачу, об'єкт і предмет та мету дослідження, головні завдання, визначено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, особистий внесок автора, відомості про апробацію досліджень та публікації.

В першому розділі наведено аналіз результатів огляду науково-технічних розробок теплохолодопостачання будівель на основі парокompресійної трансформації енергії низькотемпературних джерел. Проаналізовано зниження незворотних енергетичних втрат, пов'язаних з внутрішньою та зовнішньою незворотністю у роботі теплонасосних установок (ТНУ), а також способи підвищення температури абонентського теплоносія. Наведено характеристику водних та повітряних потоків, як низькотемпературних джерел для телонасосних систем теплохолодопостачання (ТНСТ). Запропоновано структурно-функціональну будову систем нового напрямку, які дозволяють комбіновано трансформувати енергію вхідної води та повітряних потоків для відповідних абонентських систем із підвищеною ефективністю. Проведено аналіз вітчизняних та закордонних патентних розробок теплохолодопостачання на основі енергії водних та повітряних потоків, їх ексергетичної ефективності. Розроблено алгоритм термодинамічного розрахунку та визначення енергетичної і ексергетичної ефективності ТНСТ.

В другому розділі викладено концепцію побудови загальних схемо-технічних рішень та умови вискоефективної роботи систем теплохолодопостачання на основі енергії вхідної води, що зумовлює можливість зниження відповідних капітальних та експлуатаційних витрат через безпосередню близькість загальних трубопроводів холодного та гарячого водопостачання.

На основі узагальнення результатів вимірювання встановлена закономірність сезонних змін температури вхідної води при її надходженні в

будівлі. Сезонна зміна цієї температури задовільно апроксимується рівнянням у вигляді синусоїдального закону.

В результаті обґрунтована доцільність використання вхідної води в якості низькотемпературного джерела енергії для систем гарячого водопостачання та охолодження будівель Одеського регіону.

Для інтегрованої системи теплохолодопостачання з використанням енергії вхідної води та вентиляційного повітря розроблена модель для дослідження та визначення умов вискоефективної трансформації енергетичних потоків залежно від вхідних та режимних параметрів. Результатами дослідження визначено основу інженерної розробки запропонованих систем теплохолодопостачання будівель південних регіонів України.

Аналіз структурно-функціональних схемо-технічних рішень та умов їх роботи, а також результатів виконаного дослідження вказує на переважну доцільність застосування в будівлях розглянутої системи, що характеризуються адекватним режимом і порівняним співвідношенням витрат холодної і гарячої води (пралень, окремих видів побутових і харчових підприємств). Разом з тим очевидна необхідність подальшого пошуку шляхів підвищення енергетичної ефективності систем за рахунок виключення обмежуючих умов та невідповідностей режимів розбору холодної та гарячої води.

В третьому розділі на основі аналізу відомих інтегрованих теплонасосних систем теплопостачання та методів їх розрахунку запропонована нова система теплохолодопостачання з сумісним використанням енергії вхідної води та повітряних потоків для будівель зі значними витратами застосовуваних низькотемпературних джерел теплоти (аквапарки, підприємства побутового обслуговування тощо) переважно в південних регіонах України.

На основі запропонованої концепції стабілізації пневмогідралічного режиму та результатів аналітичного дослідження встановлена залежність зміни витрати повітря при зміні початкового тиску води та його спутного зниження в системі з розділеними водними потоками, які проходять через випарник і конденсатор у відповідні абонентські підсистеми. Встановлена закономірність є основою в інженерній розробці системи при підборі діаметра з'єднувального трубопроводу для баків-акумуляторів з подальшою оцінкою допустимого рівня шумоутворення в її роботі.

В результаті аналітичного дослідження теплоенергетичної ефективності запропонованої системи теплохолодопостачання встановлена модифікована залежність коефіцієнта перетворення, який визначає взаємозв'язок вхідних параметрів і режимних умов роботи підсистем відбору теплоти вихідної вхідної води на введенні в будівлю і вентиляційних потоків. Отримане рівняння для коефіцієнта перетворення дозволяє прогнозувати вплив різних факторів інтегрованого низькотемпературного джерела і умов роботи

абонентських підсистем за умови високоефективного перетворення енергетичних потів в розроблюваній системі.

Аналіз енергетичної ефективності систем за реальним коефіцієнтом перетворення якісно вказує на досить істотний вплив співвідношення ($G_{в,уд}/G_{хв}$), раціональне значення якого знаходиться в діапазоні 2÷9.

При цьому в роботі припливної системи вентиляції в режимі утилізації теплоти зовнішнього повітря в процесі його охолодженні в теплий період року забезпечується суттєві зростання коефіцієнта перетворення ефективності утилізації теплоти.

В четвертому розділі для визначення раціональних умов роботи запропонованої системи із дворівневим нагріванням абонентського теплоносія розроблено методику експериментального дослідження на лабораторній теплонасосній установці та спосіб обробки відповідних результатів вимірювань.

На основі результатів експериментального дослідження встановлена закономірність зміни температури основного нагріву абонентського теплоносія, а також нагрівання після конденсатора в залежності від співвідношення витрат води, що проходить через випарник від інтегрованого НТД, та трат її частини, що нагрівається у форконденсаторі. Встановлено співвідношення витрат і температур середовища, що охолоджується і нагрівається, для високоефективного дворівневого нагріву води, а також умови, що виключають необхідність застосування додаткового джерела енергії. За результатами експериментального дослідження встановлений діапазон зміни коефіцієнта перетворення (2,9 ÷ 5,7), значення якого зростає зі збільшенням витрати низькопотенційного середовища через випарник при відповідному зниженні води, що проходить через форконденсатор. За результатами аналітичного дослідження запропонованої системи встановлено залежності для оцінки енергетичної ефективності та економії палива від параметрів інтегрованого НТД та енергоносія абонентського теплоспоживання з урахуванням режимного взаємозв'язку підсистем відбору, трансформації та споживання теплоти, яка утилізується.

Визначено закономірність експлуатаційного регулювання та умови забезпечення нормованого в Україні рівня енергетичної ефективності в роботі ТНСТ. Показано, що коефіцієнт перетворення більше $\varphi > 3$ для $\beta = 0,2$ забезпечується при співвідношенні витрат вентиляційного повітря, що видаляється, і вхідної води в межах 1,75÷3,0. Встановлені залежності для визначення економії палива на основі інтегрованого НТД, які дозволяють оцінити умови ефективної роботи запропонованої системи, як в моноенергетичному режимі, так і в спільному процесі її експлуатації з додатковим теплогенератором.

У **висновках** за результатами роботи викладено отримані автором наукові та прикладні результати, перспективи їх використання.

ІІІ. ЗАГАЛЬНІ ЗАУВАЖЕННЯ І ПОБАЖАННЯ

1. По назві і меті роботи. Який смисл вкладається в термін «інтегрований» в контексті цієї роботи? Може краще сумісний? Що таке «стабілізація» термотрансформаторних процесів? Якщо стабілізація – то це скоріше сталість чогось в часі, а мова йде навіть про шуми. Що таке «холодна» вода і які її параметри? «Може краще вхідна вода системи ХВП» або хоча б «вода із водопроводу». Може краще звучало б «теплохолодозабезпечення» ніж «теплохолодопостачання», адже це все вже в кінцевого споживача?
2. Параграфи 1.4 та 1.7 чомусь повністю винесено в додаток.
3. Дивує наявність в усіх трьох схемах рис. 2.4 рециркуляційного повітряпроводу, адже не бажано додавати в припливне повітря частину витяжного повітря, збагаченого CO₂ і зі зменшеною концентрацією кисню, бо втрачається власне сенс вентиляції. Як там працює тепловий насос, адже витрати припливного і витяжного повітря однакові?
4. Як фізично пояснити незалежність долі води, що йде на ГВП, від коефіцієнта трансформації теплового насоса, рис. 2.8? Чому немонотонна залежність від t_x на рис. 2.9?
5. Як функціонує схема, що представлена на рис. 3.1 в нічний час, коли відсутній відбір ГВП, але є відбір холодної води (наприклад, для пральної чи посудомийної машини)? Як працює ця схема сезонно, наприклад, в спекотне літо та в холодну зиму?
6. Отриманий розрахунковий коефіцієнт трансформації, що на рис. 3.5, менший ніж реальні значення COP теплових насосів вода-вода за гірших режимів роботи, ніж в дисертації, наприклад, параметрів W0/W35, W0/W45, W0/W55. Як пояснити такі занижені результати?
7. Що авторка вкладає в поняття «енергоекологічна» ефективність? Про енергетичну ефективність в канонічному розумінні цього терміну в дисертації мова не йде. В основному йдеться про раціональні режими.
8. Вирази 4.2-4.4 записані без теплоємності. Некоректно записано вираз 4.5, можливо в знаменнику повинно бути $-Q_u$.
9. Що таке вологонадлишки, стор. 117. Що авторка вкладає в поняття «абонентські системи»?
10. Із рис. 4.5 слідує, що чим більша температура холодної води, тим менший коефіцієнт трансформації, як це фізично пояснити? А на рис.4.6 – цей ефект діє навпаки, коефіцієнт трансформації збільшується. Це незрозуміло.
11. Якщо на рис. 4.7 лінії продовжити до температур холодної води десь при 35 °С, то всі лінії зійдуться в майже одній точці, але фізично це неможливо, бо коефіцієнти трансформації різні, тоді як пояснити ці графіки. Аналогічне питання і по рис.4.8.

12. Що таке $Q_{тн}$? Це тепловий потік в конденсаторі, чи що? Як отримано вираз (4.15, а)? Поясніть параметри виразу 4.16. Дивно записаний вираз 4.17, там зліва одиниця.

13. Із рис. 4.10 слідує, що при температурі холодної води в 25 °С можна зекономити все паливо, чи лише 60%, але це фантастичні дані. Бажано надати пояснення.

14. Зауваження до термінів. Термін «устрій» - не зовсім вдалий для побудови схемо-технічних рішень; невдалий термін «щільність» замість густина; невдалий вираз – «стоянка установки» (стор. 107).

IV ВИСНОВКИ ОПОНЕНТА

Дисертаційна робота Висоцької М.В. є завершеним науковим дослідженням, наукові результати якої є певним внеском у подальший розвиток наукових знань в області систем теплохолодопостачання будівель. В дисертації вирішена науково-прикладна задача розробки локальних систем на основі парокомпресійної трансформації потоків сумісної енергії вхідної води холодного водозабезпечення та скидного вентиляційного повітря.

Сформульовані в роботі наукові положення, висновки і рекомендації достатньо обґрунтовані, а їх достовірність та новизна не викликає сумніву.

Оформлення, стиль викладення матеріалу дисертаційної роботи доступний для сприйняття і відповідає сучасним вимогам до наукових публікацій.

Зміст автореферату відповідає тексту дисертації, а основні наукові положення, що містяться в них, ідентичні.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації цієї роботи відображені в публікаціях автора у науково-технічних виданнях, визначених ДАК МОН України. Матеріали дисертації у достатній мірі представлені на конференціях державного та міжнародного рівня.

За напрямом обраних і вирішених завдань дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертаційна робота М.В. Висоцької відповідає вимогам до кандидатських дисертацій, а її авторка заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, проф., член-кореспондент НАН України,
завідувач відділу теплофізичних основ енергоощадних теплотехнологій
Інституту технічної теплофізики НАН України

м. Київ, 15 грудня 2021 р.



Басок Б.І.

Підпис гр. *Басок Б.І.*
ЗАВІРЯЮ
"15" 12 2021 р.
Зав. канцелярії *Міщенко*

15.12.2021 р.