

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора

Редька Андрія Олександровича

щодо дисертаційної роботи

кандидата технічних наук **Мілейковського Віктора Олександровича**

**«Енергоефективне формування мікроклімату на основі розробленої теорії
макроструктури турбулентних течій»,**

на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання

1. Актуальність теми дисертації та її зв'язок з планами роботи

Київського національного університету будівництва та архітектури.

Дисертація присвячена вирішенню проблеми обґрунтування й розроблення теорії упорядкованої великомасштабної структури струмин і примежових шарів змішування, що дозволяє створювати енергоефективні системи формування мікроклімату з максимальним використанням корисних властивостей цієї макроструктури, пов'язана з планами держбюджетної тематики Київського національного університету будівництва і архітектури на замовлення Міністерства освіти і науки України (№ держреєстрації 0116U000846, 0117U003383).

2. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, представлених у дисертаційній роботі.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану науково-технічної проблеми й обґрунтуванні та розробленні основної ідеї і теми дисертації; формуванні мети і завдань дослідження; проведенні теоретичних та експериментальних робіт: обґрунтуванні і розробленні принципів методик їх проведення; якісному та кількісному аналізі результатів та їх інтерпретації, оформленні статей, патентів та доповідей на наукових конференціях. Результати розрахункових та теоретичних досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Наукові положення, висновки та рекомендації отримані і розроблені автором у результаті вивчення сучасного стану питання підвищення енергоефективності системи.

Достовірність отриманих результатів зумовлена детальним розглядом досліджуваних процесів з використанням сучасних методів математичного моделювання, застосуванням сучасних методів виміральної техніки.

4. Ступінь новизни результатів дисертаційного дослідження.

В дисертаційній роботі набули подальшого розвитку чинники системного методологічного підходу створення сучасних систем.

При цьому

вперше:

- розроблено поглиблену теорію впорядкованої турбулентної макроструктури вентиляційних струмин, крім закручених, і примежових шарів змішування на основі геометричного й кінематичного аналізу без фіктивних величин на зразок турбулентної в'язкості й турбулентного числа Прандтля та експериментальних коефіцієнтів, які описують геометричні й фізичні особливості турбулентної структури;
- теоретично обґрунтовано й експериментально підтверджено багат шарову структуру гнутих напівобмежених струмин, що утворюється за рахунок особливостей взаємодії їх з потоком, що підтікає.

Удосконалено:

- методи розрахунку у вентиляційних струминах характерних кутів розширення, максимально можливої швидкості зустрічного потоку, у якому може розвиватися струмина, профілю швидкості, температури та інших величин на підставі поглибленої теорії упорядкованої турбулентної макроструктури;
- для примежових шарів змішування методи визначення характерних кутів розширення, профілю швидкості та температури, а також коефіцієнта теплопередачі крізь ці шари на основі поглибленої теорії упорядкованої турбулентної макроструктури;
- теорію структури початкової та перехідної ділянок вільної струмини без використання аналогії зі струминним примежовим шаром, що дозволило

надати фізичне пояснення процесам у перехідній ділянці як ділянці формування шахової турбулентної макроструктури;

- методи застосування основних інтегральних рівнянь гідродинаміки для неусталених усереднених течій з визначенням поправок на часові пульсації для кількості руху та енергії, що підвищило точність теоретичного опису затухання вентиляційних струмин і виявило розподіл енергії в них.

Набула подальшого розвитку:

- гіпотеза щодо можливості в напівобмежених струминах вилучення з розгляду пристінного примежового шару, що передбачає умовне розтягнення струминного примежового шару до поверхні настилення.

5. Практичне значення отриманих результатів.

Наукові та практичні значення одержаних результатів полягають в тому, що отримані результати можуть використовуватися при розробці систем формування мікроклімату.

Основні положення і результати проведених досліджень впроваджено і застосовано в діяльності: ДП “Науково-дослідний інститут будівельного виробництва”, м. Київ, при розробці ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014; ДП “Академпроект” НАН України, м. Київ; ТОВ “Данфосс-Україна, м. Київ, зокрема, у міжнародних рекомендаціях Optima 1; ПрАТ «Вентиляційні системи», м. Боярка; ТОВ “Украгроінвест”, м. Київ; ФГ “Арфа”, с. Кучаків (Кірове) Бориспільського району Київської області. Окремі теоретичні та методичні розробки впроваджені у навчальний процес Київського національного університету будівництва і архітектури.

6. Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації.

Результати досліджень автора пройшли апробацію і дістали позитивну оцінку на Міжнародних науково-практичних конференціях, матеріали дисертації достатньо повно опубліковані у 27 друкованих роботах, зокрема 6 робіт у науково-метричних базах даних та 19 у фахових виданнях України, одержано 2 патенти України.

Зазначені публікації та автореферат дисертації з достатньою повнотою розкривають основний зміст роботи.

7. Аналіз основного змісту роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, а також сформульовано мету та завдання роботи, розкрито зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; визначені об'єкт, предмет та методи дослідження; особистий внесок здобувача; наведені дані щодо апробації та впровадження результатів роботи, а також про наукові публікації та структуру дисертаційної роботи.

У першому розділі проаналізовано системи формування мікроклімату та турбулентні течії з макроструктурою в них. Це – припливні струмини різного типу та примежові шари змішування. Виконано порівняльний аналіз методів розрахунку турбулентних течій у цих системах.

Аналіз літературних даних засвідчив, що основним гальмівним фактором розробки систем формування мікроклімату є недостатній розвиток теорії турбулентних течій.

Крім відомих методів прямого розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса лише теорія А. Я. Ткачука за методом особливостей описує усереднений рух у пристінних примежових шарах без фіктивних величин на зразок турбулентної в'язкості й турбулентного числа Прандтля та експериментальних констант, що описують геометричні й фізичні особливості турбулентної структури. Профіль швидкості струмин недооцінює дослідні дані через неврахування великих вихорів (клубів).

На основі теоретичного вивчення літературних джерел сформульовано завдання і напрямки досліджень та намічено шляхи вирішення проблеми.

У другому розділі проведено теоретичні та експериментальні дослідження вільних затоплених струмин у нерухомому середовищі та в потоку. Отримано візуальні картини макроструктури вільних струмин.

Для створення фізичної концептуальної моделі та розроблення на її підставі теорії потоків з турбулентною макроструктурою розглянуто вільну плоску струмину.

Особливістю вільних турбулентних примежових шарів є великомасштабні вихори – клуби. Через свій великий масштаб і тенденцію до зростання вони завжди упорядковані. Це дозволяє застосувати геометричні та кінематичні підходи до теоретичного розрахунку макроструктури подібних течій з отриманням достовірних результатів задля зменшення обсягу або уникнення експериментальних досліджень обладнання, яке використовує турбулентні течії з великими вихорами.

В результаті отримано профіль швидкості, який відповідає відомим експериментальним та теоретичним даним.

Побудовано профіль усередненої надлишкової температури при теплообміні навколишнього середовища зі струминою.

Отримано профіль інтенсивності турбулентності основної ділянки вільної струмини.

Візуальні дослідження струмин підтверджують межі існування стабільної струмини у зустрічному потоку, отримані методом розрахунку макроструктури турбулентних течій. Наведене дозволяє прогнозувати властивості струмин течій.

У третьому розділі розглянуто теоретичні й експериментальні дослідження напівобмежених струмин для розрахунку потоків, що настилаються на поверхні, та для розробки повітророзподільників.

Струмина складається (рис. 2.4, 2.17) з двох примежових шарів: пристінного на поверхні настилення w та струминного з боку вільної межі b . Клуби занурюються глибше поверхні (лінії) максимальної швидкості m у перерізах. Тому поверхня (лінія) розділу примежових шарів s опиняється ближче ніж m до поверхні настилення w .

Виконуючи геометричний аналіз визначена середня швидкість потоку. Виконано порівняння профілів швидкості з експериментальними даними та результатами інших авторів (рис. 2.8, 2.16). Отримано апроксимаційне рівняння для розрахунку швидкості та інтенсивності турбулентності струмин.

Визначено розширення та затухання плоских напівобмежених струмин використовуючи програми параметричного моделювання

В роботі отримано залежність для опису розширення криволінійної струмини у супутньому та зустрічному потоках струмини.

Результати розрахунків доповнюються візуалізацією струмин. Дослідні дані збігаються з результатами розрахунків.

Результати дослідження дозволили визначити геометричні параметри повітророзподільника зі взаємодією опуклих напівобмежених струмин.

У четвертому розділі розглянуто примежовий шар змішування між супутніми та зустрічними потоками. Характерною особливістю є наявність клубів. Запропоновано класифікувати примежовий шар змішування:

- вільний – обидва потоки вільні;
- напівобмежений – один потік вільний, а інший – обмежений;
- обмежений – обидва потоки обмежені.

Розроблена схема плоского прилежового шару змішування. Отримано профілі швидкості та температури, визначено профіль інтенсивності турбулентності, параметри початкової ділянки струминних течій. Аналізуються особливості розширення супутнього та зустрічного потоків плоских струмин.

У **п'ятому розділі** вдосконалено методи застосування основних інтегральних рівнянь гідроаеродинаміки для неусталених усереднених течій, які не є квазіусталеними. Для уточнення рівняння кількості руху розглянуто довільну течію.

Більшість потоків у системах формування мікроклімату є усередненими. Усереднюваною за часом Δt , с, з похибкою ϵ названо течію, для якої інтеграли фізичних величин за об'ємом, m^3 , у будь-якій фіксованій контрольній поверхні та за проміжком часу завдовжки Δt , с, не залежать у межах похибки ϵ від початку відліку проміжку часу, с. Квазіусталені течії мають достатньо малий час Δt , с. Тому похибка залежностей для усталених течій була в допустимих межах для розв'язуваних задач.

Одним з видів усереднених, але не обов'язково квазіусталених потоків, є періодичний потік. Це – потік, у кожній точці якого всі фізичні величини через певний період часу Δt , с, набувають однакового значення. Усі розглянуті течії можна вважати періодичними, а значить, і усередненими.

Для таких течій уточнено рівняння кількості руху. На підставі геометричного та кінематичного аналізу макроструктури визначено поправки на неквазіусталеність для кількості руху.

Для розширення області застосування рівняння енергії (Бернуллі) розглянуто цю ж довільну течію. Аналогічно одержано рівняння енергії у формі “секундної енергії” (потужності, Вт) та поправки на неквазіусталеність.

У **шостому розділі** розглянуто прикладні задачі формування мікроклімату з використанням розробленої теорії макроструктури.

Одним з визначальних факторів підвищення ефективності організації повітрообміну є розвиток припливних струмин. Для підвищення ефективності розроблення нових рішень організації повітрообміну створено класифікацію способів забезпе-

чення потрібного темпу затухання струмин. Зазначена класифікація відкрита для розширення при розвитку техніки.

Для приміщень великої висоти за неможливості витісняючої вентиляції запропоновано ефективну схему організації повітрообміну. Передбачено подачу повітря над робочою зоною опуклими напівобмеженими струминами від багатощілинних циліндричних повітророзподільників..

Основною проблемою повітророзподільників зі взаємодією опуклих напівобмежених струмин є розділення струминок після взаємодії з утратою темпу затухання. Причиною є висока стійкість клубів, що не дозволяє струминкам об'єднатись у єдину.

Для вирішення проблеми створено умови, щоб макроструктура струминок мала середній масштаб для результатної струмини. Розроблено повітророзподільник ежекційний сопловий з диском (ПЕС-Д).

Результати впровадження вказують на зменшення енергозатрат на 29%, зменшення капітальних та експлуатаційних затрат.

8. Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладання.

Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 385 найменувань та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладені на 389 сторінках, містять 88 рисунків та 13 таблиць. Дисертаційна робота написана українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Викладення матеріалу дисертації є логічним і відповідає вимогам до наукових праць, а зміст роботи висвітлює основні результати наукових досліджень. В дисертаційній роботі не використовуються матеріали кандидатської дисертації.

9. Зауваження щодо змісту дисертації.

Незважаючи на встановлену вище оцінку дисертаційної роботи, вважаю за необхідне висловити ряд зауважень, які в визначеній мірі можуть стати предметом для дискусії:

1. Тема дисертаційної роботи «Енергоефективне формування мікроклімату на основі розробленої теорії макроструктури турбулентних течій», але в роботі розглядається окремий випадок турбулентних течій – вільні плоскі та вісесиметричні

струмини. Тому вважаю, що тема дисертаційної роботи може бути присвячена розробці методу розрахунку саме цього типу турбулентних течій;

2. Не обґрунтовано використання апроксимації за умови гладкості кривої інтенсивності турбулентності основної ділянки вільної струмини (рис. 2.9 і рис. 4.3);

3. У рівняннях регресії (2.105-2.110) не вказано межі зміни величини θ_v (тангенс кута розширення струмини);

4. Визначення коефіцієнту теплопередачі (4.21) потребує знання теплофізичних властивостей повітря та розмірів зони теплопередачі і може бути використано для стаціонарних потоків. Тому не обґрунтовано її використання для розрахунку температури потоків систем опалення, які є нестаціонарними.

5. Використання геометричного аналізу розрахунку температури струмини (4.6) може бути використано для слабконеізотермічних струмин, при цьому автором не вказано діапазон швидкості струмини;

6. Автор вказує на уточнення рівняння Бернуллі для турбулентних течій з великомасштабними вихорами. Рівняння Бернуллі використовується для стаціонарних потоків, а доповнення іншими членами і поправками дає вже інше рівняння для нестаціонарних потоків;

7. Аналіз літератури по розрахунку турбулентних течій має значний об'єм.

10. Відповідність дисертації спеціальності, за якою вона представляється до захисту.

Дисертаційна робота Мілейковського В. О. на тему «Енергоефективне формування мікроклімату на основі розробленої теорії макроструктури турбулентних течій» відповідає спеціальності 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

11. Загальні висновки

В цілому, дисертаційна робота **Мілейковського Віктора Олександровича** є повністю завершеною науковою роботою, в якій вирішується актуальна проблема науковому обґрунтуванню енергоефективних систем формування мікроклімату та розробці теорії упорядкованої макроструктури вентиляційних струмин і примежо-

вих шарів змішування.

Наведені зауваження можна розглядати як побажання для майбутніх подальших досліджень автора.

З урахуванням обґрунтованості наукових положень та висновків наведених у дисертації, наукової та практичної цінності отриманих автором наукових результатів, вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 10, 12, 13 і 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою КМ України (24.07.2013 № 567) з останніми змінами, внесеними постановою КМ України (27.07.2016 № 567), а її автор – Мілейковський Віктор Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор

кафедри теплогазопостачання,

вентиляції та використання теплових

вторинних енергоресурсів

Харківського національного університету

будівництва та архітектури

А. Редько

Підпис д.т.н., проф. Редька А. засвідчую

Учений секретар ХНУБА



/ І. Бабівська /