

В І Д Г У К

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора,
завідувача кафедри «Теплогазопостачання і вентиляція»
Національного університету «Львівська політехніка»

Желиха Василя Михайловича

на дисертаційну роботу **Мілейковського Віктора Олександровича**
«Енергоефективне формування мікроклімату на основі розробленої
теорії макроструктури турбулентних течій»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Системи формування мікроклімату споживають понад 30 % загального енергоспоживання України та понад 60 % енергоспоживання будівель і споруд. У Європейському Союзі вони використовують 50 % енергопотреб держав. Тому підвищення ефективності роботи цих систем є умовою сталого розвитку України та світу.

Одним з впливових факторів на зазначені системи є особливості розвитку турбулентних течій. Вони важко піддаються теоретичному опису через складну стохастичну структуру. Особливе місце серед них посідають струмини та примежові шари змішування, які мають упорядковані великомасштабні вихори. Більшість наявних теорій мають фіктивні величини, а також дослідні коефіцієнти й функції, що не є універсальними. Тому при застосування до конкретних задач ці теорії потребують додаткових експериментальних досліджень, а сам процес розрахунків є тривалим і вимагає значних обчислювальних ресурсів.

Таким чином, розробка теоретичних підходів до течій з турбулентною макроструктурою без зазначених недоліків є актуальною задачею.

2. Наукова новизна.

Наукова новизна полягає в теоретичному обґрунтуванні геометричного й кінематичного аналізу впорядкованої великомасштабної структури турбулентних струмин і примежових шарів змішування для формування мікроклімату приміщень. При цьому:

1. 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;

2. 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 гідроаеродинаміки 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;

3. Набула подальшого розвитку гіпотеза щодо можливості в напівобмежених струминах вилучення з розгляду пристінного примежового шару, що передбачає умовне розтягнення струминного примежового шару до поверхні настилання.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових висновків.

Вірогідність отриманих наукових результатів зумовлена використанням фундаментальних законів розвитку турбулентних течій і підтверджена порівнянням з відомими теоретичними та експериментальними даними, а також з даними авторських дослідів, які виконані з застосуванням сучасних методів виконання та обробки гідроаеродинамічного експерименту, теорії ймовірності та математичної статистики.

4. Практична цінність роботи.

Отримані на підставі розробленої теорії макроструктури турбулентних течій уточнені залежності для інженерного розрахунку параметрів струмин та примежових шарів змішування рекомендуються до широкого застосування в практиці проектування енергоефективних систем формування мікроклімату. Розроблена класифікація способів забезпечення потрібного темпу затухання струмин дозволяє приймати обґрунтовані і доцільні рішення при проектуванні систем повітророзподілення та розробці вентиляційного обладнання.

За рахунок впровадження створеної ефективною схема організації повітрообміну для приміщень без можливості витісняючої вентиляції досягнуто максимальної енергоефективності кондиціонування повітря в приміщеннях великого об'єму. Розроблені повітророзподільні пристрої для подачі повітря опуклими напівобмеженими струминами безпосередньо над робочою зоною забезпечують стабільність струмин у широких межах регулювання витрати повітря, що спрощує автоматизацію систем зі змінною продуктивністю.

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.

5. Повнота викладення здобувачем основних результатів.

Матеріали дисертаційної роботи повністю викладено у 27 друкованих наукових працях, зокрема у 19 фахових виданнях України та у 6 статтях в іноземних виданнях наукометричних базах даних, одержано 2 патенти України на винахід, а також 45 матеріалів конференції (37 міжнародних).

Персональний внесок дисертанта в роботі:

У дисертаційній роботі теоретичні результати щодо упорядкованої макроструктури струмин та примежових шарів змішування в системах формування мікроклімату отримано здобувачем самостійно. Автором проведено аналіз стану науково-технічної проблеми, розроблено поглиблену теорію зазначеної макроструктури, на її підставі створено фізичні

концептуальні моделі її розвитку та виконано теоретичний опис струмин і примежових шарів змішування, експериментально підтверджено окремі теоретичні результати за нестачі літературних даних, розроблено класифікацію способів забезпечення потрібного темпу затухання струмин, обґрунтовано вимоги до повітророзподільників зі взаємодією опуклих напівобмежених струмин, розроблено повітророзподільний пристрій підвищеного темпу затухання струмини та запропоновано схему організації повітрообміну за неможливості витісняючої вентиляції.

6. Оцінка мови, стиль та оформлення дисертації й автореферату.

Дисертаційна робота має вступ, шість розділів, загальні висновки, список використаних джерел із 385 найменувань та додатків. Робота викладена на 389 сторінках, серед яких 293 сторінки основного тексту, містить 88 рисунків і 13 таблиць.

Застосована в роботі наукова термінологія є загально визнаною, стиль викладення результатів теоретичних і експериментальних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їхнього сприйняття. Оформлення дисертації відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України.

7. Відповідність тексту автореферату й дисертації.

Текст автореферату відповідає структурі, змісту та основним положенням наведеним в дисертації.

8. Аналіз основного змісту роботи.

Всі розділи дисертаційної роботи змістовно підпорядковані меті дослідження, логічно взаємопов'язані.

Дисертація та автореферат цілком відповідають паспорту спеціальності 05.23.03 - вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету та завдання досліджень, викладено наукову новизну та практичну цінність роботи, особистий внесок автора, відомості про апробацію досліджень та публікації.

У першому розділі проаналізовано літературні джерела щодо систем формування мікроклімату та розвитку турбулентних течій у них. Визначено основні типи течій з великомасштабними вихорами в подібних системах – струмини та примежові шари змішування. Розглянуто основні методи моделювання турбулентних потоків. Визначено, що лише теорія А. Я. Ткачука дозволяє без використання дослідних даних і фіктивних величин виконувати адекватний теоретичний опис цих течій. Однак, для течій з великомасштабними вихорами цей підхід не дає достатньої точності. На підставі проведеного аналізу сформульовано завдання досліджень.

У другому розділі розглянуто вільні струмини. Виконано авторські візуальні дослідження макроструктури вільних плоских та вісесиметричних струмин. На їхній підставі створено фізичну концептуальну модель розвитку великомасштабних вихорів у вільних струминах та поглиблену теорію макроструктури таких течій. Без використання фіктивних величин та експериментальних коефіцієнтів отримано характерні кути розширення струмин, профілі швидкості, температури, інтенсивності турбулентності та максимальну відносну швидкість зустрічного потоку, за якої струмина може існувати. Збіг з відомими теоретичними та дослідними даними підтверджує правильність теорії. Проведено візуальні дослідження струмини в зустрічному потоку. Вони також підтвердили отримані теоретичні дані.

У третьому розділі розглянуто настилення струмин на огорожувальні конструкції та інші поверхні (напівобмежені струмини), що широко використовується при вентиляції приміщень. У розділі на підставі запропонованої теорії розроблено фізичну концептуальну модель розвитку макроструктури напівобмежених струмин. Виклади значно спрощуються завдяки уточненій дисертантом гіпотезі І. А. Шепелева щодо можливості вилучення пристінного примежового шару з розгляду. Результати збігаються

з відомими дослідними та теоретичними даними. Виявлено, що гнута напівобмежена струмина захоплює навколишнє середовище таким чином, що утворюється супутній потік. Тому її ширина є значно більшою за розмір примежового шару з великомасштабними вихорами. Цей результат збігається з даними k - ϵ моделювання. Для додаткової перевірки здобувачем виконано візуальні експерименти, що остаточно підтвердили виявлений ефект. Практичним результатом досліджень стало обґрунтування геометричних параметрів повітророзподільників зі взаємодією опуклих напівобмежених струмин.

У четвертому розділі розглянуто примежовий шар змішування, який формується між потоками, що рухаються з різною швидкістю та/або напрямком. Зазвичай, подібні шари описуються за аналогією до струминного примежового шару. Оскільки ця аналогія не має підтвердження і дає відхилення від відомих експериментальних даних, у дисертаційній роботі вона не використана. Отримано співвідношення характерних розмірів, профілі швидкості, температури та темп розширення шару. Розглянуто теплообмін між потоками, що рухаються з різною швидкістю. Результати впроваджено в нормативних документах. У підсумку поглиблено й уточнено теорію початкової та перехідної ділянок вільної струмини. Надано ґрунтовне фізичне тлумачення процесам у перехідній ділянці – формування макроструктури, характерної для основної ділянки струмин. Отримані результати збігаються з відомими теоретичними та дослідними даними.

У п'ятому розділі розглянуто врахування низькочастотних пульсацій швидкості завдяки великомасштабним вихорам при використанні рівнянь кількості руху та енергії (Бернуллі). Завдяки цьому досягається більш адекватний теоретичний опис струмин, примежових шарів змішування тощо. Уведено поняття усередненої течії. Теоретично визначено поправки на часові пульсації швидкості для секундних кількості руху та енергії потоку. Розглянуто баланс енергії основної ділянки вільної струмини. Визначено розподіл витрати енергії струмини на підтримання великомасштабної структури та на спонуку підтікання навколишнього середовища. Це

підтвердило перевагу витісняючої вентиляції як найбільш ефективної з точки зору механічної енергії. Крім цього, виявлено причину розбіжності полюсів струмини за теорією Ф. Толміна. Показано, що розгляд контрольних поверхонь з неповними живими перерізами призводить до неможливості врахування пульсацій значення та напрямку швидкості, спричинених великими вихорами.

У шостому розділі розглянуто прикладні задачі формування мікроклімату. Розроблено класифікацію способів забезпечення потрібного темпу затухання струмин при вентиляції приміщень. Завдяки розробленій теорії макроструктури течій поглиблено розуміння процесів формування струмини, випущеної з перфорованої панелі. При цьому виконано візуальні дослідження взаємодії струминок. Виявлено підвищену стійкість їхньої макроструктури. Таким чином, великомасштабні вихори при злитті струминок, сформованих перфорованою панеллю, їхня макроструктура стає мікроструктурою результатної струмини. Остання після злиття формує свою структуру як після випуску суцільного потоку, що й обумовлює монолітність утвореної течії. Запропоновано схему організації повітрообміну для приміщень без можливості витісняючої вентиляції. Розроблено повітророзподільники з настиланням струмин на опуклі поверхні для цієї схеми організації повітрообміну. Вони застосовують той же принцип формування макроструктури, що й при випуску з перфорованої панелі. Розглянуто застосування схеми на прикладі Міжнародного виставкового центру в місті Києві. Отримано суттєве заощадження холоду, теплоти, а також електроенергії на переміщення повітря.

9. Зауваження до дисертації

1. У першому розділі дисертації наведено детальний аналіз повітряних течій із вихорами, а також методи моделювання турбулентних потоків, що має інформативний характер та збільшує обсяг дисертаційної роботи. На нашу думку, слід було в літературному

огляді більш стисло і коротко викласти критичну складову, яка дозволяє оцінити необхідність наукових досліджень з точки зору розв'язання невіршених іншими дослідниками частин проблеми.

2. Не зрозуміло для чого здійснювалася візуалізація вільних струмин, адже це повторення існуючих досліджень І.А. Шепельова. Які корективи вніс автор в ці дослідження?
3. У другому розділі роботи, автор розглядаючи складний закон зміни середньої швидкості, м/с, у криволінійному трикутнику $T_{12}T_{13}T_{23}$ запропонував апроксимувати його лінійним поліномом. Слід було обґрунтувати доцільність такого рішення, або вказати на допустиму похибку апроксимації.
4. При розгляданні профілю усередненої температури струмини, автор проводить аналогію з профілем швидкості (рис. 2.6.) на якому вісь струмини є прямолінійною, слід звернути увагу на те, що надлишкова температура буде відхиляти вісь струмини.
5. У третьому розділі наведені результати розрахунків розширення криволінійних напівобмежених струмин у графічному вигляді (Рис. 3.15), які слід було більш детально описати, співставивши із отриманими результатами експериментальних досліджень повітророзподільника ПЕТ, оскільки сам рисунок не дає вичерпної інформації.
6. У четвертому розділі при дослідженні характерних розмірів примежевого шару змішування, при порівнянні результатів моделювання зустрічних потоків у кубічній камері на k-ε моделі слід було докладніше зупинитись на значеннях збіжності з розрахунковими даними (стор. 271).
7. У п'ятому розділі, визначивши поправки на неусталеність для усереднюваних течій автор аргументує безперечну перевагу витісняючої вентиляції (стор. 298), але не зрозумілим залишається, чому для упровадження результатів теоретичного опису

макроструктури течій пропонується схема організації повітрообміну для приміщень без можливості витісняючої вентиляції (стор. 299).

8. Не зрозумілим залишається твердження автора, що створена теорія турбулентних течій з макроструктурою дозволяє обґрунтувати принцип подачі повітря, форму та співвідношення розмірів повітророзподільного пристрою для запропонованої схеми організації повітрообміну (стор. 326), оскільки відсутні пояснення щодо використання отриманих в роботі аналітичних залежностей характеристик макроструктури турбулентних течій.
9. На нашу думку характеристика способів забезпечення темпу затухання струмин та пристроїв турбулізації потоку (Розділ 6.1) доцільніше було віднести до аналізу літературних джерел в першому розділі, де здійснювався аналіз течій рідини і газів. Це дозволило б глибше сформулювати напрямки наукових досліджень.
10. В роботі наявні окремі описки та неточності, наприклад: (стор. 142) наявний вислів - "*...в зустрічному потоку...*" має бути "*...в зустрічному потоці...*"; (стор. 29) "*...коефіцієнт пропорційності ординатою центра клуба до абсциси його центра...*" має бути - "*...коефіцієнт пропорційності ординати центра клуба до абсциси його центра...*"; (стор. 164) "*...у зворотному потоку...*" має бути - "*...у зворотному потоці...*" та ін.

ВИСНОВОК

Зроблені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Мілейковського Віктора Олександровича «Енергоефективне формування мікроклімату на основі розробленої теорії макроструктури турбулентних течій» є завершеною науковою роботою, що містить нові наукові положення, які вирішують важливу проблему

обґрунтування й розроблення поглибленої теорії упорядкованої великомасштабної структури струмин і примезових шарів змішування, що дозволяє створювати енергоефективні системи формування мікроклімату з максимальним використанням властивостей цієї макроструктури.

Дисертаційна робота Мілейковського В. О. відповідає паспорту спеціальності 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання – і профілю Спеціалізованої вченої ради Д 26.056.07. Вона відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України до докторських дисертацій, наведених у п. 9, 10, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор – Мілейковський Віктор Олександрович – заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри «Теплогазопостачання і вентиляція»

Національного університету «Львівська політехніка»

Желих В.М.

Підпис доктор технічних наук, професора,

завідувача кафедри «Теплогазопостачання і вентиляція»

Національного університету «Львівська політехніка»

Засвідчую.

Вчений секретар Вченої Ради

Національного університету

«Львівська політехніка»



Брилинський Р. Б.