

В І Д Г У К

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри теплоенергетики

Вінницького національного технічного університету

Ткаченка С. Й.

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

I. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Відповідальне споживання енергоресурсів є актуальним завданням для України та інших світових країн. Формування мікроклімату будівель і споруд вимагає суттєвого споживання енергії – більше 30 % у нашій країні та 50 % – у країнах Європейського Союзу. Тому для забезпечення сталого розвитку необхідно підвищувати енергоефективність систем формування мікроклімату.

Ефективність цих систем визначається, серед іншого, розвитком турбулентних течій в них зі складною стохастичною структурою. Їхню теорію не достатньо розвинено. Тому розробники систем вимушені виконувати експериментальні дослідження або чисельне моделювання. В обох випадках необхідні значні витрати часу й ресурсів. Це гальмує розробку нового обладнання й уповільнює підвищення енергоефективності даних систем.

Існують течії, що мають вихори, сумірні з їхніми розмірами. Важливими для формування мікроклімату течіями даного класу є струмини й примежові шари змішування. Зазначені вихори повинні бути упорядкованими задля геометричної сумісності. Це дозволяє розробити поглиблену теорію подібних течій, що значно полегшить задачу вдосконалення систем формування мікроклімату. Наведене підкреслює актуальність роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами Робота виконана згідно з Державною “Програмою підтримки енергоефективності в Україні” і безпосередньо пов'язана з планами держбюджетної тематики Київського національного університету будівництва і архітектури на замовлення Міністерства освіти і науки України (№ державної реєстрації 0116U000846, 0117U003383).

Мета і завдання дослідження

Мета роботи полягає в науковому обґрунтуванні енергоефективних систем формування мікроклімату та розробці теорії упорядкованої макроструктури вентиляційних струмин і примежових шарів змішування.

Відповідно до поставленої мети досліджень сформульовані наступні основні завдання:

- проаналізувати наявні системи формування мікроклімату та методи розрахунку турбулентних течій у них;

- розробити поглиблену теорію макроструктури турбулентних течій з великомасштабними вихорами, на підставі чого запропонувати фізичну концептуальну модель розвитку макроструктури вільних турбулентних струмин при формуванні мікроклімату приміщень;
- виконати теоретичні та експериментальні дослідження струмини в зустрічному потоку з метою перевірки стабільності її розвитку при співвідношенні між швидкістю зустрічного потоку та початковою швидкістю струмини понад 0,4 задля уточнення причин відсутності відомих експериментальних даних у цьому діапазоні;
- на підставі розробленої теорії обґрунтувати фізичну концептуальну модель розвитку макроструктури турбулентних напівобмежених струмин при формуванні мікроклімату приміщень, на основі чого визначити доцільні геометричні параметри повітророзподільників із взаємодією опуклих напівобмежених струмин;
- на підставі розробленої теорії запропонувати фізичну концептуальну модель розвитку турбулентної макроструктури примежових шарів змішування без використання недоведеної аналогії зі струминним примежовим шаром;
- удосконалити методи використання інтегральних рівнянь гідроаеродинаміки – рівняння кількості руху та енергії – для застосування в турбулентних потоках з великомасштабними вихорами з урахуванням низькочастотних пульсацій;
- розробити класифікацію способів забезпечення потрібного темпу затухання струминних течій у вентиляції та кондиціонуванні повітря, що враховує сучасний рівень розвитку повітророзподільної техніки;
- обґрунтувати енергоефективну схему організації повітрообміну з подачею повітря над робочою зоною опуклими напівобмеженими струминами для приміщень за неможливості організувати витісняючу вентиляцію;
- на підставі розробленої теорії турбулентних течій з макроструктурою обґрунтувати конструкцію повітророзподільних пристроїв для реалізації зазначеної схеми організації повітрообміну.

Об'єкт, предмет і методи дослідження

Об'єкт досліджень – турбулентні течії з великомасштабною вихровою структурою в енергоефективних системах формування мікроклімату будівель.

Предмет досліджень – аеродинамічні процеси створення, упорядкування та розвитку турбулентної макроструктури в струминах і примежових шарах змішування в елементах систем формування мікроклімату та приміщеннях.

Методи досліджень – теоретичні дослідження макроструктури турбулентних течій на підставі геометричного та кінематичного аналізу використано для створення поглибленої теорії та фізичної концептуальної моделі розвитку впорядкованої макроструктури зазначених течій в елементах систем формування мікроклімату та вентиляційних приміщеннях. Математичне моделювання на підставі k-ε моделі використано для перевірки результатів в окремих випадках, для яких виконання дослідів ускладнене через фізичні обмеження.

Експериментальні дослідження вільних і напівобмежених струмин повітря й води виконувалися для візуалізації їхньої макроструктури задля перевірки висловлених гіпотез з використанням сучасних методів виконання

аерогідродинамічного експерименту, вимірювальної, фотографічної техніки та ефективних фарбників, що практично не впливають на реологічні властивості середовища.

Вірогідність наукових гіпотез, положень, висновків і рекомендацій зумовлена використанням фундаментальних законів розвитку турбулентних течій при збігу результатів з достатньою точністю з відомими даними теоретичних і експериментальних досліджень, а також авторських експериментів, які оброблені з використанням методів теорії ймовірності та математичної статистики.

Наукова новизна роботи та важливість одержаних результатів для науки і практики

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

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.

Практична цінність роботи полягає в наступному

Отримані на підставі розробленої теорії макроструктури турбулентних течій уточнені залежності для інженерного розрахунку параметрів струмин та прилежових 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 ефективної 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.

Особистий внесок здобувача чітко вказаний в дисертації і в авторефераті.

Апробація роботи і достовірність результатів

Основні результати досліджень та окремі розділи роботи доповідалися на: науково-практичних конференціях Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ, 2009-2014 рр.), науковій конференції молодих вчених, аспірантів і студентів Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ, 2009-2011 рр.); на міжнародній науковій конференції “Екологічні проблеми природокористування та ефективне енергозбереження” (м. Київ, 2010 і 2011 рр.); на міжнародній науково-технічній конференції “moNGeometrija” (м. Белград, 2010, 2016 рр., м. Нови-Сад, 2012 р, м. Власіна, 2017, Сербія); на П'ятій міжнародній науково-практичній конференції “Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві “Енергоінтеграція” (м. Київ, Україна, 2011-2018 рр.); на дев'ятій міжнародній конференції “Environmental Engineering” (м. Вільнюс, Литва, 2014 р.); на міжнародній науково-технічній конференції “Constructions of Optimized Energy Potential – Materials and Energy Saving Technologies” (м. Ченстохова, Польща, 2014-2019 рр.); на міжнародній науковій конференції “International Conference for Geometry and Graphics (ICGG)” (м. Інсбрук, Австрія, 2014 р., м. Пекін, Китай,

2016 р., м. Мілан, Італія 2018 р.); на XIII міжнародній галузевій конференції «Кліматизація будівель та споруд комерційного та промислового призначення» в рамках 17 Міжнародної виставки опалення, водопостачання, вентиляції, кондиціонування, поновлюваної енергетики, сантехніки і басейнів «Аква-Терм Київ 2015» (м. Київ, Україна, 2015 р.); на 4 міжнародній технічній конференції “Hydraulic Engineering (СHE 2016)” (Гонконг, 2016 р.); на міжнародній науково-технічній конференції “Створення високотехнологічних екокомплексів в Україні на основі концепції збалансованого (стійкого) розвитку”, (м. Львів – Брюховичі, 2017 р.); на 6 міжнародній науково-практичній конференції “ЕкоКомфорт” (м. Львів, 2016 р.); на 3 міжнародній науково-практичній конференції “Topical researches of the World Science” (м. Дубаї, Об’єднані Арабські Емірати, 2017 р.); на міжнародній науково-технічній конференції “Енергоефективність в галузях економіки України-2017” (м. Вінниця, 2017 р.); на Першій міжнародній азербайджансько-української конференції “Building Innovations – 2018” (м. Баку, Азербайджан, 2018 р.); на Сьомій міжнародній конференції "System Safety: Human – Technical Facility – Environment", (м. Закопане, Польща, 2018 р.); на міжнародній конференції Danfoss ReCon “Весь досвід Східної Європи в реконструкції багатоквартирного житла” (м. Київ, 2019 р.); на Першій міжнародній науково-практичній конференції “Просторовий розвиток територій: традиції та інновації” (м. Київ, 10-11 жовтня 2019 р.); на Міжнародній науково-технічній конференції “Теорія і практика формування мікроклімату та енергопостачання будівель і споруд” (м. Київ, 2019 р.); на I Міжнародній науково-практичній конференції “Зелене будівництво” (м. Київ, 2019 р.).

Мова та стиль роботи

Дисертаційна робота та автореферат написані грамотно. Стиль і виклад послідовний, логічний та відповідає вимогам до друкованих праць. Текст роботи повністю відтворює результати наукових досліджень. При викладені тексту застосовується, в основному, сучасна наукова й лексична термінологія.

Публікації та автореферат

За матеріалами дисертації опубліковано 27 друкованих наукових праць, зокрема 6 статей в іноземних фахових виданнях у наукометричних базах даних, 19 – у фахових виданнях України, одержано 2 патенти України на винахід.

Автореферат дисертації за змістом і викладом відповідає дисертаційній роботі.

Структура і обсяг роботи

Дисертація складається зі вступу та шести розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 385 найменувань, додатків, викладена на 389 сторінках друкованого тексту, у тому числі 293 сторінки основного тексту, 88 рисунків і 13 таблиць.

II. АНАЛІЗ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Загальна характеристика роботи

У *вступі* дано обґрунтування актуальності роботи, визначені мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, наведені відомості про публікації автора за темою дисертації. Обсяг та форма вступу відповідають загальноприйнятим вимогам до докторських дисертацій та достатні для ознайомлення з вихідними передумовами й змістом положень, що виносяться автором на захист.

У *першому розділі* проаналізовано літературні джерела щодо розвитку турбулентних течій у системах формування мікроклімату. Визначено основні течії з великомасштабними вихорами, які виникають у подібних системах. Це – струминні й примежові шари змішування.

Розглянуто основні методи моделювання турбулентних потоків. Показано, що на відміну від інших теорія професора А. Я. Ткачука на базі методу особливостей дозволяє виконувати адекватний теоретичний опис пристінних турбулентних течій без використання фіктивних величин на зразок турбулентної в'язкості й турбулентного числа Прандтля та експериментальних коефіцієнтів, які описують геометричні й фізичні особливості турбулентної структури. В основі теорії закладено використання формули Кельвіна-Стокса. Ламінарні підшарки на твердих поверхнях моделюються дрібновихровими пеленами.

Для струмин формула Кельвіна-Стокса дає лише форму профілю швидкості. У таких течіях немає підстав для прив'язки вихрової пелени до конкретної лінії. Розміщення її посередині примежового шару призводить до недооцінки профілю швидкості. Проблема виникає через те, що теорія не враховує наявність упорядкованої великомасштабної структури потоку, яка визначає особливості розвитку струмин. Тому постає завдання розробки поглибленої теорії, яка описує саме цю макроструктуру. А оскільки великомасштабні вихори займають більшість об'єму основної ділянки струмини, то в ній немає як такого потенціального ядра потоку з прямими лініями течії, паралельними напрямку руху, до якого можна ефективно застосувати формулу Кельвіна-Стокса. Потік навколо струмини завдяки підтіканню має лінії течії, спрямовані до неї. За формулою (1.5) роботи ця течія нерівномірна. Тому застосування рівності сумарної циркуляції швидкості до циркуляції швидкості, розрахованої за контуром, що оперізує вихори, також ускладнюється. У підсумку зроблено висновок щодо необхідності створення поглибленої теорії, яка фокусується саме на великомасштабній структурі струмин і примежових шарів змішування.

На підставі аналізу літературних джерел сформульовано завдання й напрямки досліджень та намічено шляхи вирішення проблеми.

Зауваження до розділу:

1.1. У розділі не було проведено детального аналізу можливості застосування до струмин формули Кельвіна-Стокса та закону рівності сумарної циркуляції швидкості навколишньої течії до циркуляції швидкості, розрахованої за контуром, що оперізує вихори.

1.2. У розділі на с. 42 зазначено, що лише теорія А. Я. Ткачука адекватно описує течії без застосування фіктивних величин та експериментальних коефіцієнтів. Однак, з пункту 1.3.8 видно, що метод дискретних вихорів С. М. Білоцерковського також дозволяє не залучати подібні дані.

У другому розділі розглянуто теоретичний опис вільних струмин. Виконано візуалізацію макроструктури вільних плоских та вісесиметричних струмин. Результати дозволили виявити, що великомасштабні вихори мають тенденцію до максимально компактного шахового укладання. Завдяки отриманим особливостям запропоновано поглиблену теорію макроструктури подібних течій. Вона принципово відрізняється від теорії А. Я. Ткачука тим, що розглядає безпосередньо рух всередині великомасштабних вихорів та між ними, а не продукований ними рух течії за межами вихрового прошарку.

Розроблено фізичну концептуальну модель розвитку великомасштабних вихорів у вільних струминах. Без використання фіктивних величин та експериментальних коефіцієнтів визначено основні закономірності розвитку струмин. Теоретично визначено характерні кути розширення, які вважалися фундаментальними константами. Також отримано профілі швидкості, температури та інтенсивності турбулентності. Результати відповідають відомим дослідним та теоретичним даним. Винятками є:

- інтенсивність турбулентності біля місця умовного торкання великомасштабних вихорів, де головну роль відіграють більш дрібні структурні елементи;
- параметри струмини в зустрічному потоку, швидкість якого за модулем перевищує 0,4 швидкості на осі струмини.

В останньому випадку літературні дані відсутні. Тому для струмини в зустрічному потоку було теоретично визначено максимальну відносну швидкість останнього, за якої струмина може стабільно розвиватися. Це значення наближається до 0,4. Отриманий результат успішно підтверджено авторськими візуальними експериментами.

Зауваження до розділу:

2.1. У розділі не пояснено суттєву різницю між експериментальними даними при різних значеннях початкової швидкості струмини.

У третьому розділі розглянуто настилення струмин на огорожувальні конструкції та інші поверхні. У розділі запропоновано фізичну концептуальну модель розвитку макроструктури напівобмежених струмин на підставі розробленої теорії. Для плоских струмин розглянуто два варіанти: з урахуванням пристінного примежового шару та за гіпотезою І. А. Шепелева щодо його вилучення з розгляду. Дисертантом ця гіпотеза була уточнена: замість простого відкидання шару великомасштабні вихори слід умовно розтягнути до поверхні настилення. Результати показують не лише збіг з відомими даними, але й незначну похибку уточненої гіпотези. Для криволінійних напівобмежених струмин вона була успішно використана для спрощення викладів. Через брак якісної теорії у

діапазонах параметрів, характерних для вентиляції, на сьогодні ці струмини мало застосовуються, хоча мають великі перспективи. Теоретичні виклади дозволили обґрунтувати геометричні параметри повітророзподільників зі взаємодією опуклих напівобмежених струмин.

Зауваження до розділу:

- 3.1. Рівняння (3.91) та, відповідно, схема його розв'язання є нестандартними, однак у роботі відсутній аналіз збіжності та стійкості цієї схеми.
- 3.2. У розділі не розглянуто особливості неізотермічних напівобмежених струмин, серед яких відрив під дією сил гравітації та теплообмін між струминою й поверхнею настилення.

У четвертому розділі розглянуто примежовий шар змішування на підставі запропонованої теорії макроструктури турбулентних течій з великомасштабними вихорами замість загальноживаної аналогії зі струминним примежовим шаром. Запропоновано класифікацію цих шарів за впливом обмежень. Визначені співвідношення характерних розмірів, профілі швидкості й температури збігаються з відомими дослідними даними. Отриманий темп розширення добре збігається з теорією Г. Н. Абрамовича лише для супутніх потоків. При зустрічних потоках результати збігаються з відомими експериментальними даними та з даними авторського моделювання на k - ϵ моделі. Таким чином, розроблена теорія дозволяє уточнити аналітичний опис примежового шару змішування.

Розглянуто теплообмін між потоками, що рухаються з різною швидкістю. Отримані результати внесено до вітчизняних та міжнародних нормативних документів.

На підставі цих теоретичних досліджень поглиблено і уточнено розуміння процесів на початковій та перехідній ділянках вільних струмин. Навколо ядра постійної швидкості формуються саме примежові шари змішування. У процесі розвитку після торкання вони занурюються один до одного з утворенням характерної для струмин компактно укладеної макроструктури. Це занурення характеризує перехідну ділянку. Отримані результати показують збіг з відомими даними, результатами авторських експериментів і моделювання, що підтверджує правильність теорії.

Зауваження до розділу:

- 4.1. На с. 254 наведено, що формули (4.22) й (4.23) можуть бути застосовані до розрахунку горизонтальних вентиляційних каналів та Було б доцільно навести самі методики розрахунку та графічно показати відповідність результатів дослідним даним роботи [354].
- 4.2. У розділі відсутнє експериментальне підтвердження результатів моделювання на рис. 4.5 і 4.9. Достовірність потребує доказу.

У п'ятому розділі обґрунтовано врахування великомасштабної турбулентної структури течій в інтегральних рівняннях гідравліки й аеродинаміки – кількості

руху та енергії (Бернуллі). Зазвичай, у цих рівняннях враховують лише нерівномірність профілю швидкості коефіцієнтами поля швидкості, Коріоліса й Бусинеска. Однак, у розглянутих течіях низькочастотні пульсації швидкості стають впливовими, тому дані течії не можна віднести до квазіусталених.

Для узагальнення введено поняття усередненої течії, у якій за певного, але не обов'язково малого масштабу часу інтеграли фізичних величин коливаються незначно. Для таких течій зазначені рівняння залишаються справедливими, але потребують поправок на часові пульсації швидкості для секундних кількості руху та енергії потоку. Розроблена теорія дозволяє визначити ці поправки.

Завдяки цим уточненням виявлено причину основної проблеми теорії У. Толміна – розбіжність полюсів струмини. Розгляд контрольних поверхонь з фрагментами живих перерізів призводить до потрапляння до неї частин великомасштабних вихорів. А це, у свою чергу, породжує на межі контура складну низькочастотну зміну напрямку та значення тангенціальних напружень.

Також у роботі проаналізовано баланс енергії основної ділянки вільної плоскої припливної струмини. Показано, що переважна більшість енергії струмини витрачається на підтримання макроструктури, а лише менше половини відсотка йде на затухання та підмішування навколишнього повітря. Це ще раз підтверджує ефективність витісняючої вентиляції, що не формує струмини.

Зауваження до розділу:

5.1. У розділі слід було визначити поправки на пульсації температури для неізотермічних струмин.

У шостому розділі вирішувалися прикладні задачі, пов'язані з формуванням мікроклімату, за допомогою отриманих теоретичних результатів. Розроблено класифікацію способів забезпечення потрібного темпу затухання струмин у повітродозподільній техніці. Детально розглянуто процеси формування струмини, випущеної з перфорованої панелі. При цьому виконано візуальні дослідження макроструктури струминок, що взаємодіють.

Виявлено, що великомасштабні вихори мають підвищену стабільність. Тому взаємодія великої кількості струминок призводить до того, що для потужного результатного потоку зазначені вихори стають дрібними. Отримана струмина стає суцільною і формує свою макроструктуру заново.

Запропоновано схему організації повітрообміну для приміщень без можливості витісняючої вентиляції. Для неї розроблено повітродозподільники з настиланням струмин на опуклі поверхні. Вони не вимагають додаткової автоматизації при змінній витраті повітря, оскільки неізотермічна струмина залишається стабільною в широких межах зміни витрати при настиланні на опуклу поверхню. Така стабільність обумовлена додатковою силою тиску, що утримує струмину на поверхні завдяки ефекту Коанда.

Розглянуто застосування схеми на прикладі Міжнародного виставкового центру в місті Києві. Моделювання підтвердило стабільність циркуляції повітря

при регулюванні витрати. Отримано суттєве заощадження холоду, теплоти, а також електроенергії на переміщення повітря.

Зауваження до розділу:

- 6.1. Розрахунок заощадження енергії та експлуатаційних витрат у табл. 6.1 виконано для варіанта кондиціонування повітря з постійною витратою. Доцільно було б розрахувати і варіанти зі змінною витратою, що розширило б уявлення про ефективність методів та засобів запропонованих здобувачем..
- 6.2. У розділі доцільно було б навести порівняння варіантів організації повітрообміну у виставковій залі за певним критерієм ефективності, наприклад, у вигляді (1.1).

У **висновках** до роботи викладено отримані автором наукові й прикладні результати та перспективи їхнього використання.

У **додатках** представлено:

- список наукових праць за темою дисертації;
- апробацію роботи
- акти впровадження результатів роботи.

ІІІ. ЗАГАЛЬНІ ЗАУВАЖЕННЯ І ПОБАЖАННЯ

1. У роботі чітко не зазначена область застосування розробленої теорії. Не наведено конкретний приклад з алгоритмом реалізації результатів досліджень.
2. В науковій новизні є таке «вперше: розроблено поглиблену теорію ...без фіктивних величин на зразок... та експериментальних коефіцієнтів...» На наш погляд, в цьому випадку, в першу чергу треба вказати на основі яких фізичних уявлень проведений кінематичний і геометричний аналіз. Що означає в даному випадку «поглиблена теорія»?
3. У профілях інтенсивності турбулентності (рис. 2.9 і 4.3) пунктиром показано плавну криву. Однак, не наведено її рівняння або алгоритм побудови.
4. У дисертації та авторефераті виявлено окремі друкарські помилки. Зокрема, на рис. 6 автореферату позиції “в” та “г” переставлено місцями, а на рис. 6 б виявлено помилки в позначенні розмірів: замість r_i та R , має бути y_{O_i} та $y_b = y_{V_i}$.
5. В пункті «Методи дослідження» (автореферат, с.3) недостатньо конкретики, особливо це стосується фізичного експерименту.

Зроблені зауваження не зменшують цінності основних наукових положень, висновків і рекомендацій, що захищаються дисертантом, і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

ІV. ВИСНОВКИ ОПОНЕНТА

Дисертаційна робота Мілейковського Віктора Олександровича є завершеним науковим дослідженням.

Сформульовані в роботі наукові положення, висновки і рекомендації достатньо обґрунтовані, а їхня достовірність і новизна не викликають сумніву.

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

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

Основні наукові положення, висновки та рекомендації роботи адекватно відображені в публікаціях автора у науково-технічних виданнях, визнаних Міністерством освіти і науки України. Матеріали дисертації були у достатній мірі представлені на конференціях державного та міжнародного рівня.

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

На підставі вище наведеного вважаю, що дисертаційна робота здобувача В. О. Мілейковського відповідає вимогам до докторських дисертацій п. 9, 10, 12, 13 і 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за науковою спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри теплоенергетики
Вінницького національного технічного університету,
доктор технічних наук, професор


С. Й. Ткаченко



Підпис 
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією 