

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора
Ганжі Антона Миколайовича
на дисертаційну роботу **Лукашова Івана Миколайовича**
«Експериментальне та теоретичне дослідження процесів тепломасообміну в елементах
перспективних аміачних енерготехнологічних установок»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Актуальність теми дисертації.

В умовах жорсткої конкуренції на світовому ринку підприємства України потребують максимально активної науково-дослідницької діяльності. Постійно зростаючі потреби в енергетичній сфері, в умовах декарбонізації світової економіки, ставлять все більш жорсткі вимоги, як до підвищення енергоефективності енерготехнологічних установок, так і до зростаючих екологічних норм. Враховуючи ці положення, з метою досягнення стійкої конкурентоспроможності виробленої продукції, як вирішального чинника комерційного успіху, аміак розглядається як найбільш перспективне робоче тіло для енерготехнологічних установок та систем забезпечення теплового режиму, котрий може задовольнити ці вимоги.

У дисертації вирішується актуальне завдання проведення багатофакторних експериментів та узагальнення результатів у вигляді феноменологічних безрозмірних теплогідравлічних кореляцій та якісних рекомендацій, необхідних для якісного проектування перспективних аміачних систем.

Таким чином, тематика дисертаційної роботи «Експериментальне та теоретичне дослідження процесів тепломасообміну в елементах перспективних аміачних енерготехнологічних установок» повністю відповідає нагальним потребам розвитку людського суспільства, а наукові дослідження вважати доречними і своєчасними.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Лукашова І. М. є високою й базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, на використанні сучасних методів дослідження, проведення експериментів і обробки експериментальних даних, порівнянні з результатами інших дослідників, чіткому формулюванні задач дослідження і обґрунтуванні отриманих висновків.

Достовірність результатів досліджень.

Отримані результати достатньо обґрунтовані і достовірні. Використані сучасні підходи та прилади для проведення експерименту. Проведено порівняння розрахунків з експериментальними даними отриманими іншими авторами. Крім того, обґрунтованість одержаних результатів підтверджується їхньою апробацією у доповідях на міжнародних науково-практичних конференціях та впровадженням результатів роботи у в Приватному Акціонерному Товаристві «ФЕД» (Україна) та ТОВ «ХАКБ»

Зх. 137/2025
вг 25.08.2025р.

Оцінка наукової новизни дисертаційної роботи.

Одержано нові наукові результати, перевага яких перед існуючими полягає у наступному:

- уточнено межі переходу від стратифікованих до кільцевих режимів течії двофазного потоку аміаку в горизонтальних каналах при температурі насичення від 15 °С до 65 °С шляхом урахування імпульсу потоку парової фази, що дає змогу більш адекватно прогнозувати закономірності двофазної течії робочого середовища в каналах аміачних паросилових енерготехнологічних установок і системах;
- вперше експериментально визначено коефіцієнти тепловіддачі при конденсації та кипінні аміаку в гладких трубах різної орієнтації у полі сил тяжіння при температурі насичення від 35 °С до 65 °С, в діапазоні масових швидкостей та масовому паровмісті, характерних для перспективних аміачних систем;
- вперше розроблено поправки до моделі ламінарної плівкової конденсації Нуссельта, які враховують інтенсивність конденсації, а також вплив інерції та в'язкості плівки рідини, що дозволяє знизити похибку визначення коефіцієнту тепловіддачі при конденсації аміаку в горизонтальних трубах з ± 50 до ± 20 % у діапазоні масових швидкостей до $120 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;
- вперше експериментально доведено, що масовий паровміст, при якому настає погіршення теплообміну при кипінні аміаку в горизонтальних і вертикальних трубах, пов'язаний з висиханням плівки рідини практично не залежить від масової швидкості потоку та може бути прийнятий на рівні 0,7 в високотемпературних системах при щільності теплового потоку до $7,7 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$;
- вперше проаналізовано якісну та кількісну адекватність існуючих моделей оцінки однофазних та двофазних місцевих гідравлічних втрат тиску для потоку аміаку при різкому розширенні та звуженні, що дає змогу знизити консерватизм при прогнозуванні втрат механічної енергії в контурах аміачних паросилових енерготехнологічних енергоустановок та системах забезпечення теплового режиму.

Практичне значення результатів, наведених у дисертаційній роботі.

Проведені здобувачем дослідження мають велике практичне значення і можуть бути використані при проектуванні та розробки нових теплообмінних апаратів та трубопроводів систем аміачних енерготехнологічних установок.

На основі результатів дослідження уточнено карту двофазних режимів течії аміаку в гладких горизонтальних та похилих трубах при високому тиску, що потрібно для більш адекватного розпізнавання режимів течії в елементах двофазних контурів. Уточнено феноменологічне співвідношення для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі при конденсації та кипінні аміаку у горизонтальних трубах при високій температурі насичення. Проведено оцінку невизначеності існуючих моделей розрахунку місцевих втрат тиску у двофазному потоці при раптовому розширенні та звуженні. Запропоновані в дисертації розробки вже використані у навчальному процесі кафедри аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

За темою роботи опубліковано 10 наукових праць, серед яких 1 стаття (виконана без співавторства) у науковому фаховому виданні України, що входить до переліку спеціалізованих наукових видань, 7 статей в міжнародних журналах, індексованих в наукометричній базі Scopus; 2 роботи – матеріали міжнародних наукових конференцій.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 153 сторінок машинописного тексту, із них основний 5 текст 116 сторінок, 75 рисунків по тексту, 9 таблиць по тексту та 2 додатки на 5 сторінках. Список використаних джерел містить 141 найменувань на 16 сторінках.

Анотація дисертації коректно відображає її основні положення.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, сформульовано мету і основні задачі дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення отриманих дисертантом результатів, надана інформація щодо публікації та апробації результатів роботи, а також визначено особистий вклад здобувача.

У першому розділі розглянуто використання аміаку в сучасних енерготехнологічних установках, системах забезпечення теплового режиму та у якості пального у двигунах внутрішнього згорання. Всебічно показана важливість досліджень процесів та явищ, що супроводжують кипіння, конденсацію та дисипацію енергії в однофазному та двофазному потоках аміаку в діапазоні тисків, що відповідають температурі насичення від -20 до 100 °C.

Другий розділ присвячено дослідженню режимів адіабатичної двофазної течії аміаку в трубі при різній орієнтації. Проведено опис експериментального стенду, досліджуваного зразку та режимних параметрів. Візуальні спостереження режимів адіабатичної двофазної течії в трубі у узагальнено вигляді спрощеної моделі в координатах умовного імпульсу фаз, яка використовується в подальшому аналізі механізмів конденсації, кипіння та втрат механічної енергії в трубах.

Третій розділ присвячено експериментальному та теоретичному дослідженню конденсації аміаку в гладких трубах при різній орієнтації у просторі для середніх та високих тисків. Було запропоновано отримані оцінки коефіцієнта тепловіддачі для горизонтального потоку узагальнити у вигляді нової простої кореляцію, котра показує хорошу якісну та кількісну адекватність отриманих оцінок коефіцієнтів тепловіддачі для труб різного діаметра при масовій швидкості до $120 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Четвертий розділ присвячено аналізу вимушеного кипіння аміаку в гладкій трубі діаметром 11 мм при різній орієнтації в просторі. В роботі запропоновано нову кореляцію для коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні в горизонтальному потоці, де коефіцієнт придушення бульбашкового механізму - відношення відповідних оцінок бульбашкової та конвективної складових. Також було виявлено, що при масовому паровмісті близько 0,7 спостерігається різке погіршення тепловіддачі, що пов'язано з висиханням плівки рідини.

П'ятий розділ присвячено проблемі оцінювання однофазних та двофазних місцевих втрат тиску в елементах контуру з різкою зміною площі прохідного перерізу. Було випробувано шість сегментів з різними геометричними факторами звуження і розширення та отримано оцінки параметрів двофазності в моделях місцевих втрат. Гетерогенна модель з емпіричним коефіцієнтом $B = 0,5$, запропонованим Чізхольмом для розширення, краще відповідає даним при малих масових швидкостях. Гомогенна модель добре працює при високих масових швидкостях (понад $400 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$).

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Дисертація та автореферат викладено логічно послідовно, структурно грамотно, коректно. Структура і зміст дисертації повністю відповідають меті і завданням дослідження, які узгоджені з висновками дисертаційної роботи. Структура подання матеріалу в авторефераті відповідає нормативним вимогам. Основні положення дисертації викладені в авторефераті в логічній послідовності, чітко і ясно. Зміст автореферату об'єктивно відображає основні положення дисертації, розбіжностей між суттю дисертації та авторефератом не виявлено.

Дискусійні положення і зауваження.

1. З тексту на стор.61 не зрозуміло, як була отримана формула (3.4) для похибки визначення масового паровмісту.

2. Формула (3.5) на стор.61 для визначення тепловтрат випарника має балансовий вигляд. Не зрозуміло, як враховувалась теплопередача.

3. У тексті не приведений аналіз підсумкового впливу погрішностей приладів на параметри, що визначаються. Не зазначено, за допомогою чого визначалась температура насичення за тиском і яка погрішність цього визначення.

4. Не ясно з чого випливає судження «Це вдвічі менше значення, ніж те, що передбачено тривимірному моделюванні. Однак, припускаючи сильно неоднорідний тепловий потік і складну геометрію, результати 3D-моделювання можна вважати правдоподібними» на стор.66.

5. Не зрозуміло, чому коефіцієнт 0,728; винесено в поправку до формули Нуссельта для коефіцієнта тепловіддачі на поверхні горизонтальних труб (формули (3.18) та (3.19), натомість він входить до класичної формули Нуссельта як результат інтегрування локальних коефіцієнтів по колу перерізу труби.

6. Викликає сумнів незалежність інтенсивності тепловіддачі при конденсації на/у горизонтальних трубах від діаметру у формулі (3.23), яка є частинним випадком формули (3.22).

7. При дослідженні процесів конденсації у трубах при малій швидкості потоку пари не розглядається вплив хвильової течії плівки зверху-вниз, а також – можливий турбулентний режим течії стікаючої плівки конденсату, цей аспект потребує пояснення.

8. У другому та третьому розділах отримані нові кореляції до розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні та конденсації автор не зіставляє з даними інших авторів для інших середовищ.

9. В п'ятому розділі потребує пояснення чому автор прийняв, що для стратифіковано-хвильового режиму емпіричний коефіцієнт C_{MSH} має початкове значення $C_{MSH} = 2$.

10. За текстом дисертації і автореферату мають місце неточності та стилістичні похибки

Однак, вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, її положень і результатів.

ВИСНОВОК

Розглянувши дисертаційну роботу Лукашова Івана Миколайовича можна зробити наступні висновки:

1. Оформлення дисертації відповідає вимогам подання науково-технічної інформації.

2. Стиль викладання достатньо чіткий, послідовний та в основному виключає неоднозначність трактування і розуміння основних положень і результатів дисертаційного дослідження.

3. Основні результати та положення дисертації у достатній мірі опубліковані у періодичних виданнях та апробовані на науково-технічних конференціях.

Таким чином, враховуючи актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, сформульованих у дисертації, висновків та рекомендацій, їх наукову новизну та практичну значимість, відповідність предметній області спеціальності, повноту викладення у наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що подана дисертаційна робота «Експериментальне та теоретичне дослідження процесів тепломасообміну в елементах перспективних аміачних енерготехнологічних установок» відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013р., а її автор, Іван Миколайович Лукашов, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика і промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент:

Професор кафедри теплотехніки
та енергоефективних технологій
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»,
доктор технічних наук, професор

