

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

д.т.н., професора Самойчука Кирила Олеговича

на дисертаційну роботу **Йовченко Алли Василівни**

«ТЕПЛОВІ ЕФЕКТИ ТА ГІДРОДИНАМІКА В АКТИВНІЙ ЗОНІ РОТОРНОГО ГІДРОДИНАМІЧНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 - технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота присвячена дослідженню теплових ефектів та гідродинаміки в активній зоні роторних гідродинамічних гомогенізаторів, що застосовуються для отримання фазозмінних суспензій.

Відомо, що для гомогенізації та диспергування гетерогенних систем (емульсій та суспензій) застосовуються пристрої, які істотно різняться конструкцією та принципом дії: клапанні, роторні, вібраційні, вакуумні й багато інших. Серед них найбільш активно вдосконалюються роторні гомогенізатори, в основі функціонування яких лежить створення великих полів зсуву в зазорі між ротором і статором. Такі пристрої досить універсальні (призначені для обробки рідких і в'язких середовищ), енергоефективні та мають невеликі габарити. Дисипативні процеси, що виникають під час гомогенізації, можливо використовувати для нагрівання продукту, що є необхідним у більшості технологічних процесів промислового виробництва. Тому, вдосконалення процесів гомогенізації дрібнодисперсних емульсій і суспензій шляхом модернізації роторних гідродинамічних гомогенізаторів з визначенням раціональних їх режимів роботи є актуальною науково-технічною задачею у багатьох галузях промисловості України.

Робота виконана в рамках фундаментальних науково-дослідних робіт: №185-11 «Створення наукових основ розрахунку та проектування роторних гідродинамічних теплогенераторів з підвищеним коефіцієнтом корисної дії» (№ДР 0111U002936), №174-09 «Розвиток наукових основ ексергетичного методу в кавітаційній технології при дослідженні хіміко-технологічних систем» (№ДР 0109U002740), №200-13 «Технологія та обладнання для опалення промислових приміщень на основі емульсій з відпрацьованого моторного мастила» (№ДР 0113U003348), №197-12 «Розвиток ексергетичного та феноменологічного методів для дослідження кавітаційних технологій в хіміко-технологічних системах» (№ДР 0112U001702).

Мета, об'єкт і предмет дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.14.06 - технічна теплофізика та промислова теплоенергетика як за формулою спеціальності, так і за напрямками досліджень. Мета дослідження відповідає темі дисертаційної роботи, задачі в повній мірі розкривають перелік тих завдань, що треба вирішити для досягнення мети.

Структура та обсяг дисертації

Дисертація має структуру завершеної науково-дослідної роботи. Текст дисертації складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних

джерел з 140 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 199 сторінок. Робота містить 73 рисунки та 20 таблиць.

Оформлення дисертації, стиль викладу та мова дисертаційної роботи

Матеріал дисертації викладено в послідовності, що відповідає поставленим в роботі завданням, текст дисертаційної роботи написано у науковому стилі.

Стиль висловлювання та подача матеріалу досліджень є логічними, послідовними і зв'язаними єдиною цільовою спрямованістю. Стиль викладу матеріалу дисертації, висновків, наукових положень є науковим і типовим для наукових досліджень. Мова дисертації лаконічна, термінологічно відповідає сучасним нормам, коректна та зрозуміла.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- розроблено аналітичні моделі для визначення коефіцієнтів дисипації механічної енергії при турбулентному русі в'язкої рідини в гладкій та шорсткій круглих циліндричних трубах на основі тришарової моделі потоку в трубі з врахуванням турбулентної в'язкості;

- розроблено аналітичні моделі для визначення коефіцієнтів дисипації механічної енергії при турбулентному русі в'язкої рідини в гладкому та шорсткому міжциліндрових зазорах роторних гомогенізаторів на основі тришарової моделі потоку з врахуванням турбулентної в'язкості;

- науково обґрунтовані умови попереднього прогрівання робочого середовища через поверхню статора гідродинамічного гомогенізатора, який виконує функцію теплообмінника між контурами ротор-статор та статор-корпус, що зменшує енерговитрати на гомогенізацію рідин.

Набула подальшого розвитку теорія пристінкового шару Г. Шліхтінга, зокрема засади даної теорії щодо досліджень температурного поля у в'язкому потоці, за рахунок визначення умов зміни напрямку теплового потоку при високоградієнтному русі в'язкої рідини у міжциліндровому зазорі роторного гомогенізатора.

Практичне значення отриманих результатів.

- встановлено максимальні концентрації октакозану, ПАР та зародків кристалізації, які дозволяють отримати стійку текучу фазозмінну суспензію для використання в системах сонячного теплопостачання;

- визначено раціональні конструктивні та технологічні параметри роторних установок для гомогенізації гетерогенних сумішей;

- розроблено програмний комплекс, що забезпечує функціонування автоматизованої системи вимірювання на основі швидкодіючого багатоканального аналого-цифрового перетворювача;

- розроблено пристрій для динамічного градування датчиків тиску в широкому діапазоні частот від 0 до 1000 Гц;

- розроблено роторний гідродинамічний апарат для гомогенізації гетерогенних сумішей;

- здійснено впровадження технології акумулювання теплоти в системі

теплопостачання будівель в ТОВ «ТехноБуд-2010», м. Черкаси (акт впровадження від 10.02.2020);

– результати наукових досліджень використано в навчальному процесі Черкаського державного технологічного університету при викладанні дисциплін «Гідрогазодинаміка» та «Теплотехнічні вимірювання та прилади».

На технічні рішення, що запропоновані в дисертаційній роботі, отримано 2 патенти України на корисну модель №№ 22347, 146430.

У вступі роботи обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета і задачі, визначені об'єкт і предмет дослідження, описані основні методи досліджень і викладені основні положення наукової новизни та практичної цінності, апробації та публікації результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі наведено конструкції існуючих гомогенізаторів. Виконано аналіз структури потоку в залежності від чисел Рейнольдса та Тейлора. Проаналізовано вплив температури стінок статора та ротора на теплові процеси та гідродинаміку в міжциліндровому зазорі роторного гідродинамічного гомогенізатора. При цьому потік робочого середовища розглядався як потік, аналогічний до потоку Куетта.

Роторні гідродинамічні гомогенізатори запропоновано використовувати для отримання дрібнодисперсних фазозмінних суспензій (ФЗС). Оскільки, для отримання стійких ФЗС необхідна наявність поверхнево-активних речовин (ПАР), виконано аналіз існуючих ПАР та обрано неіонні ПАР. В якості зародків кристалізації, які застосовуються для зменшення явища переохолодження, запропоновано використовувати частинки графіту Gt.

На основі проведеного аналізу сформульовано мету та основні завдання дисертаційної роботи.

До зауважень до 1 розділу слід віднести:

– не досить вдало обрано термін «краплі» (с. 32) застосовно до часток дисперсної фази емульсії (суспензії);

– у підрозділі 1.1 зазначено, що «великі краплі розбиваються на дрібні, приблизно 5–100 мкм», але дрібна дисперсна фаза паливних або молочних емульсій має розміри менше 1 мкм;

– схема на рис. 1.1 стосується методів та засобів, які використовуються для отримання гомогенних емульсій (суспензій), тому назва рисунку не відображає його змісту;

– значна кількість видів емульсій та суспензій, які обробляються в роторних гомогенізаторах і диспергаторах характеризуються великим розмаїттям їх фізико-механічних властивостей, тому доцільно визначити (конкретизувати) вид середовища, що буде досліджуватись в дисертаційній роботі вже на початку 1 розділу дисертаційної роботи;

– задачі досліджень сформульовано у вступі дисертаційної роботи, тому повторювати їх в кінці 1 розділу недоцільно.

Другий розділ присвячений розробці експериментального стенду для дослідження розподілу температури у міжциліндровому зазорі, температури стінок статора та ротора при чотирьох режимах потоку робочої рідини, зокрема,

ламінарного, ламінарного з вихорами Тейлора, турбулентного і турбулентного з вихорами Тейлора, які характеризуються числами Рейнольдса Re_a та Тейлора. Число Рейнольдса Re_a варіювалось від 0 до $3 \cdot 10^4$ (за рахунок збільшення швидкості потоку у міжциліндровому зазорі). Число Тейлора Ta змінювалось від 0 до $2,6 \cdot 10^4$ (за рахунок збільшення кількості обертів ротору). Розподіл температур у міжциліндровому зазорі визначався при зміні величини зазору в межах від 1 до 5 мм шляхом збільшення діаметру ротора. З метою фіксації результатів дослідження розроблено автоматизовану систему вимірювання, що дозволяє в режимі реального часу оновлювати значення параметрів стенда.

Зауваження до розділу 2:

– на початку (с. 61) розділу зазначено «Для підтвердження достовірності результатів теоретичних досліджень...», але методики проведення теоретичних досліджень не наведено;

– у підрозділі 2.2 (с. 80) визначена похибка зміни ентальпії (теплоти акумулювання) ФЗС, значення якої доцільно порівняти з подібними дослідженнями інших авторів;

– обрана величина зазору між ротором і статором 1–5 мм не відповідає зазору, який забезпечує високу ступінь диспергування в роторних гомогенізаторах – 0,5 мм і менше, тому необхідно навести обґрунтування такого діапазону обраних значень цієї величини;

– у висновках до розділу 2 заявлена розробка методики отримання стійких ФЗС, яка не представлена в явному виді в цьому розділі.

Третій розділ роботи присвячено дослідженню дисипативних процесів, що виникають під час гомогенізації у статичних та роторних гомогенізаторах. При цьому було визначено коефіцієнт дисипації та середньозважене значення дисипації механічної енергії нестисливої в'язкої рідини в гладких і шорстких круглих циліндричних трубах та в потоці між двома циліндрами з врахування турбулентної в'язкості. Адекватність розроблених моделей порівнювалась з експериментальними даними, отриманими Нікурадзе І.І. та Устименком Б.П.

Зауваження до розділу 3:

– некоректний термін «подрібнюється речовина» (с. 86);

– в основі досліджень 3 розділу покладено тезис про залежність між дисипацією енергії емульсії та якістю диспергування емульсії, але підтвердження такого зв'язку вимагає проведення окремих досліджень або посилок на відомі дослідження такого зв'язку інших вчених;

– доцільно представити ступінь впливу ламінарного пристінкового шару рідини на загальну ступінь диспергування емульсії (суспензії), що обробляється в роторному апараті з шорсткими поверхнями робочих органів;

– підрозділ 3.1 закінчується таблицею, де вказані результати розрахунку механічної енергії для певних умов, але при проведенні наукових досліджень розрахункові дані наводять для встановлення (спростування) закономірностей та наукових гіпотез, тому потребують аналізу;

– висновки до розділу не і повній мірі розкривають вплив результатів проведених досліджень з підвищенням ефективності процесу отримання

теплоакумуючих суспензій (зниження енерговитрат, підвищення дисперсності тощо).

У четвертому розділі використовуючи аналітичну формулу розподілу температури у міжциліндровому зазорі роторного апарата було визначено при якій умові теплота, що виникає внаслідок дисипації механічної енергії текучого середовища буде переходити від основного потоку до статора, чи до ротора. Було визначено параметр, що визначає зміну напрямку теплового потоку від течії між двома циліндрами в залежності від конструктивних параметрів установки.

Зауваження до розділу 4:

– в результаті проведення досліджень розподілу температури у міжциліндровому зазорі роторного гідродинамічного гомогенізатора необхідно привести конкретні рекомендації щодо конструктивно-кінематичних параметрів роторного гомогенізатора, які дозволять підвищити ефективність його роботи;

– некоректний термін «кількість обертів ротора роторного гідродинамічного гомогенізатора» (с. 153);

– у рекомендаціях до проектування роторного апарата (підрозділ 4.2) зазначено, що «міжциліндровий зазор приймають мінімально можливим від 1 мм, оскільки менші значення можуть привести до заклинювання ротора», що можна зрозуміти як «від 1 мм у бік його зменшення», так і навпаки;

– рекомендація «щоб гомогенізуюча суміш максимально довгий час перебувала в активній зоні роторного гідродинамічного гомогенізатора» (с. 153) потребує уточнення;

– другий висновок до розділу поданий некоректно: незрозуміло, що означають параметри R_1 та R_2 , тому зрозуміти такий висновок окремо від дисертаційної роботи неможливо; крім того у цьому висновку вказується на необхідність нагріву робочого середовища, але не пояснюється обґрунтування цієї умови;

– у третьому висновку використано некоректний термін «обертах ротору» замість «частота обертання ротора».

У п'ятому розділі проведено дослідження щодо визначення концентрації дистильованої води, ФЗМ та ПАР з метою отримання стабільних ФЗС. Запропоновано використовувати текучі ФЗС в якості теплоносія в системах сонячного теплопостачання, що покращить теплоакумуючі властивості системи на 24% у порівнянні з традиційним способом акумулюванням теплоти. Даний ефект досягається завдяки використанню теплоти плавлення парафіну та високої теплоємності води.

Зауваження до розділу 5:

– у таблиці 5.1 (с. 156) використана градація стійкості ФЗС у вигляді груп: не стабільна, стабільна, найбільш стабільна, але не зазначені конкретні кількісні параметри, які дозволяють віднести ФЗС до певної з вказаних груп;

– некоректний термін «Залежність питомої енерговитрати» (с.166);

– графік розміру часток ФЗМ, що утворюються при гомогенізації ФЗС, показаний на рис. 5.10 (с. 167) отриманий аналітичним шляхом, в основі якого використана формула Колмогорова (5.4), що дійсна лише у вузьких умовах, тому бажано ці розрахункові дані перевірити експериментально;

- розрахунок економічної ефективності використанні фазозмінних дрібнодисперсних суспензій виконане без врахування витрат на гомогенізацію;
- висновок 4 до розділу є декларативним.

Основні висновки, наведені в дисертації, достатньо обґрунтовані автором, сформульовані на підставі результатів проведених розрахункових і експериментальних досліджень.

До зауважень слід віднести:

- у висновку 5 використані формули, які мають параметри, позначення яких надані в тексті роботи;
- висновок має декларативний характер і не вказує на конкретний науковий результат;
- не відображено результати розрахунків економічної ефективності використання дрібнодисперсних фазозмінних суспензій.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях, ідентичність автореферату і основних положень дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 19 наукових роботах, в тому числі у 6 статтях, з них 3 статті – у виданнях, що включені до переліку фахових видань України, причому 4 публікації – у виданнях, що включені до баз даних Index Copernicus, Web of Science та Scopus. Результати апробації представлені у 11 тезах міжнародних та всеукраїнських конференцій. Новизну конструктивних рішень представлено у 2 патентах України на корисну модель.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Зміст автореферату досить повно відображає зміст дисертаційної роботи.

Разом з тим слід зауважити, що значна частина публікацій стосується роторних гідродинамічних теплогенераторів, які важко віднести до класу апаратів для гомогенізації.

Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам

Побудова дисертації та логіка викладення не викликають заперечень, розподіл матеріалу по розділах вдалий, по кожному розділу сформульовані висновки. Всі етапи роботи спрямовані на досягнення мети, яка поставлена в роботі, зміст якої відповідає спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Методологія дисертації сучасна, включає широке використання математичних методів, комп'ютерне моделювання та експериментальну перевірку основних положень.

Дисертаційна робота показує, що її автор може ставити і вирішувати наукові та дослідницькі завдання проблеми, аналізувати отримані результати та обґрунтовувати висновки і рекомендації.

Дисертація представлена зрозумілою мовою, з використанням загальноприйнятої термінології та добре ілюстрована. Оформлення дисертації відповідає вимогам.

Автореферат відображає всі аспекти дослідження та дає можливість оцінити його основні результати.

Розглянута дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною працею автора. Її обсяг і структура як за змістом, так і за формою, у цілому, відповідають вимогам Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання кандидата технічних наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України та рекомендаціям МОН України, які пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційної роботи

Зміст роботи характеризується певною логічною послідовністю викладення матеріалу, ілюструється таблицями, графіками, схемами. Разом з тим, аналіз дисертаційної роботи дозволяє вказати на деякі дискусійні питання, а саме:

1. Не зовсім логічно побудована структура розділу 2 дисертаційної роботи, де методика проведення експериментальних досліджень передуює до методики проведення аналітичних досліджень (моделювання у комп'ютерних програмних продуктах Solidworks).

2. Теоретичний опис процесів диспергування емульсій та суспензій характеризується значною кількістю теорій та гіпотез: кавітаційна, в'язкісна, турбулентна, градієнтна тощо, і також механізмів руйнування дисперсних часток: нестійкість Релея-Тейлора, Кельвіна-Гельмгольца, дроблення поблизу стінок, інерційний та динамічний механізм і т.п. Тому доцільно було представити аналіз та вибір цих теорій і механізмів руйнування дисперсних часток в роторному гомогенізаторі при аналітичних описах процесів в ньому.

3. При проведенні досліджень було прийнято твердження, що «чим більші дотичні напруження, тим більша дисипація, тим краще подрібнюється речовина» (с. 86), однак дисперсна частка однаково ефективно руйнується як під впливом дотичних, так і під впливом нормальних напружень, величина яких може знаходитись в оберненій залежності до значень дотичних напружень. Тому знання величини тільки дотичних напружень не може однозначно визначати ступінь диспергування емульсії (суспензії).

Загальний висновок:

1. Розглянута дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, яка спрямована на підвищення ефективності процесу гомогенізації теплоакуючих суспензій в роторному гідродинамічному гомогенізаторі шляхом дослідження теплових ефектів та гідродинаміки в його активній зоні.

2. Текст автореферату і публікації достатньо повно відображають зміст і основні наукові результати виконаного дослідження.

3. Зауваження по роботі, відзначені у відгуку, не ставлять під сумнів вихідні наукові положення й основні результати дослідження.

4. За актуальністю розглянутої теми, науковим рівнем, обсягом досліджень та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота повністю відповідає пунктам 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів»,

затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015, № 567 від 27.07.2016), а її автор, Йовченко Алла Василівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри
обладнання переробних і харчових
виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика
Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного
МОН України


Кирило САМОЙЧУК

