

Голові разової спеціалізованої
вченої ради
в Національному університеті
«Одеська політехніка»
доктору технічних наук, професору
ПАВЛЕНКУ В.Д.

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора кафедри комп'ютерних наук Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка ФЕДОРЧУКА Володимира Анатолійовича на дисертацію ЛИСЬ Дар'ї Анатоліївни за темою: **«Моделі, методи та засоби математичного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем»**, подану до захисту в разову спеціалізовану вчену раду Національного університету «Одеська політехніка» Міністерства освіти і науки України на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 — Інформаційні технології за спеціальністю 121 — Інженерія програмного забезпечення.

1. Актуальність теми дисертації та зв'язок із науковими програмами, темами

На даний час успішно розвивається інноваційна технологія дослідження фізичних явищ, які зумовлюють зародження, існування та еволюційні перетворення парорідинних сумішей, де важливим моментом є дослідження та формалізація основних закономірностей формування і розвитку нерівновагових двофазних потоків системи «рідина — пар». Так, в практичних задачах, пов'язаних з плином двофазних (парорідинних) систем, важливим є визначення місця виникнення рідкої фази, а також вплив вологи, яка виникає, на величину наступної нерівноваговості потоку, його енергетичні та витратні характеристики. Важливу роль в утворенні рідкої фази грає висока турбулентність потоку, а також періодична нестационарність, що створює хвилі розрідження та стискання, які перемежуються. Дрібнодисперсна волога, яка виникає в результаті спонтанної конденсації, слугує ядрами наступної стадії конденсації, що характерна для подальшого розширення — двофазного середовища.

Тому, тема дисертаційної роботи ЛИСЬ Д. А., яка полягає у створенні моделей та методів математичного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем та у розробці інструментальних програмно-алгоритмічних засобів (ІПАЗ) моделювання, які забезпечують розв'язування задач в практиці досліджень та інженерних розрахунках для широкої гами енергетичних процесів і об'єктів як природного походження, так і технологічного призначення є **актуальною**. Крім того, **актуальність** представленої дисертаційної роботи також підтверджується її виконанням відповідно до держбюджетних науково-дослідних робіт (НДР): «Засоби моніторингу динамічних об'єктів, засновані на застосуванні моделей у вигляді нечітких множин» № 152 – 63, 2018 – 2021 р.р. (№ держ. реєстрації

0118U006825) та «Методи та програмні засоби інтерпретації моделей машинного навчання непараметричних динамічних об'єктів» №210-63, 2021 – 2025 р.р. (№ держ. реєстрації 0122U002161) Національного університету «Одеська політехніка».

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, наведених у дисертації, підтверджено доцільним використанням обраних методів дослідження, конкретним формулюванням мети дисертаційної роботи, чітким окресленням головної наукової задачі роботи для використання сучасного математичного апарату та програмного забезпечення. Авторкою для виконання роботи було використано сучасне методологічне забезпечення, що складається з науково-технічних та експериментальних методів, за допомогою яких було обґрунтовано отримані результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи.

Достовірність отриманих результатів підтверджується їх узгодженням із теоретичними висновками, експериментами та числовими розрахунками, а також впровадженням розроблених моделей і методів у прикладну інформаційну технологію.

Авторка у дисертації вирішила поставлену актуальну науково-практичну задачу в повному обсязі. Основні наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи логічно впливають з результатів досліджень і достатньо обґрунтовані.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Практична цінність одержаних результатів дисертаційної роботи визначається тим, що розроблені моделі, методи та засоби математичного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем, в тому числі ІПАЗ, розширюють можливості використання засобів прикладного математичного моделювання при проведенні наукових досліджень та інженерних розрахунків.

Вперше запропоновано нестационарні та нелінійні математичні моделі (ММ) рівновагових та нерівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем у вигляді відповідних диференціальних рівнянь з частинними похідними (ДРЧП) та варіаційних нерівностей з частинними похідними (ВНЧП), які отримано на основі фундаментальних законів фізики, що забезпечує адекватність цих моделей у широкому діапазоні змін параметрів двофазного середовища, на відміну від існуючих емпіричних та рекурентних ММ.

Вперше виконано узагальнення ММ рівновагових та нерівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем, що дозволило поставити та розв'язати задачу пошуку методів реалізації ММ поширених у практичних застосунках динамічних станів парорідинних двофазних систем, ґрунтуючись на підході уніфікації.

Так, *вступ* містить загальну характеристику дисертаційної роботи; обґрунтування актуальності теми досліджуваної проблеми; мету і задачі

дослідження. Визначено об'єкт та предмет дослідження а також наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів; зазначено особистий внесок дисертантки у роботах, які виконані у співавторстві; наведено відомості щодо апробації результатів дисертаційної роботи та вказано основні положення, які виносяться на захист.

У першому розділі «Стан проблеми математичного опису та машинних методів математичного моделювання динаміки парорідинних двофазних систем» виконано аналіз проблеми розв'язування задач моделювання та ідентифікації, виконано класифікацію досліджуваного класу двофазних парорідинних систем та методів і засобів, що застосовуються при числовому дослідженні динаміки вказаних систем.

Авторка зазначає, що формалізація вихідної задачі у векторно-матричній блочній формі вимагає значних обчислювальних ресурсів комп'ютерної техніки, що зумовлено високою розмірністю векторно-матричних співвідношень, утворених при переході від алгебраїчних рівнянь, які записано для вузлів сітки дискретизації, до векторно-матричних співвідношень.

В роботі зазначено перспективність використання програмної платформи MatLab щодо розв'язування задач моделювання динамічних процесів у парорідинних системах.

Виконано дослідження проблематики задач моделювання та ідентифікації динамічних станів парорідинних двофазних систем.

Другий розділ «Математичні моделі типових динамічних станів парорідинних двофазних систем» присвячено розгляду якісного впливу теплових процесів у формуванні двофазних парорідинних систем та запропоновано конструктивні ММ, які компенсують недоліки існуючих математичних моделей хвилеутворення в бульбашковому режимі.

Визначено ґрунтовні ознаки для ММ, яка враховує теплові ефекти у парорідинній двофазній системі. В якості адекватного математичного опису при розробці нерівновагових ММ розглянуто апарат варіаційних нерівностей, який дозволяє врахувати характерні ефекти нерівновагового розвитку динамічних процесів, наприклад, спрямовану «однобічну» провідність границі просторової області; еволюційну та граничну обмеженість функції стану.

Авторка описує, у вигляді відповідних ММ, динаміку утворення та розповсюдження хвилі у парорідинних двофазних системах у разі наявності теплових втрат як на фазові переходи в самій двофазній системі, так і на зовнішнє її випромінювання.

В роботі сформульовано нерівновагову коміркову ММ, яка враховує витрати енергії. Підкреслено, що варіаційна нерівність описує коміркову модель для парорідинних двофазних систем у разі наявності теплових втрат як на фазові переходи в самій двофазній системі, так і на зовнішнє її випромінювання, тобто являє собою нерівновагову ММ для даного випадку.

Виконано узагальнення запропонованих ММ динамічних станів парорідинних двофазних систем, що дає змогу в уніфікованій формі ставити та

розв'язувати задачі математичного моделювання даних систем в уніфікованій формі, з підлаштуванням до конкретної задачі дослідження.

У *третьому розділі «Дискретні аналоги математичних моделей динамічних станів парорідинних двофазних систем»* розроблено дискретний аналог узагальнених ММ рівновагових та нерівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем.

Авторка розглядає можливість побудови дискретних аналогів ММ нерівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем, які враховували б найважливіші якісні характеристики запропонованих вище неперервних ММ.

В дисертації запропоновано підхід до розробки дискретних аналогів узагальнених ММ класу динамічних станів, які розглядаються. При цьому дискретні ММ розглянуто на основі методу скінченних різниць, який добре алгоритмізується, та зручний при наступній числовій реалізації.

При цьому дискретний аналог ММ нерівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем розроблено на основі поєднання методу сумарної апроксимації та інтегро-інтерполяційного методу. Слід відмітити, що розв'язок поставленої тестової задачі реалізовано за допомогою розроблених інструментальних програмно-алгоритмічних засобів (ІПАЗ).

У *четвертому розділі «Комп'ютерні засоби та їх застосування при розв'язуванні задач математичного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем»* розглянуто питання, які пов'язані з розробкою комп'ютерних засобів розв'язування задач математичного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем. Використовуючи їх як інструментальну базу, розглянуто приклади застосування запропонованих ММ та методів реалізації останніх щодо математичного моделювання зазначених динамічних станів в умовах реальних технологічних процесів в енергетиці та переробних галузях промисловості.

Дисертантка чітко підкреслює, якими чинниками зумовлено вибір програмної платформи у вигляді проблемно-орієнтованого пакету Matlab при створенні ІПАЗ для розв'язування задач математичного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем. Також, враховано обчислювальні особливості, які забезпечує платформа Matlab, а саме: ефективність — процесорний час моделювання, число ітерацій та точність результатів; а також надійність — здатність успішно розв'язувати поставлені задачі, достовірність отриманих результатів, здатність обробки (аналізу та виправлення) помилкових ситуацій.

У зв'язку з вище викладеним, авторка приходить до висновку, що важливою прикладною задачею при дослідженні динамічних станів парорідинних двофазних систем є врахування рівновагового випарювання з утворенням парових бульбашок у каналі, в якому рухається парорідинна суміш.

У *висновках* сформульовано основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

Додатки містять документи про впровадження результатів дисертаційної роботи, деякі математичні викладки та вигляд вікон ІПАЗ.

Отже, дисертаційній роботі притаманний високий науковий рівень виконання і вона є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка відзначається науковою новизною та практичною цінністю, а для розв'язування поставлених задач використано сучасні методи теоретичного та експериментального дослідження. Стиль викладення доказовий.

4. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Під час вивчення та аналізу дисертаційної роботи можу сказати, що дисертація містить результати як власних досліджень авторки, так і досліджень, які проводились у співавторстві. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело. Підкреслюю, що авторка дисертації намагалася підкреслити актуальність своєї позиції в тексті. Фактів порушення академічної доброчесності в дисертації здобувачки *не виявлено*.

5. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні наукові результати дисертаційної роботи ЛИСЬ Д. А. викладено у 13-ти наукових роботах, в тому числі: у 1-й, статті, опублікованій у виданні, що проіндексовано у наукометричній базі Scopus; у 3-х статтях, які опубліковано у виданнях, включених до Переліку фахових видань України (всі видання індексуються у міжнародних наукометричних базах даних); у 1-й статті, яку опубліковано у зарубіжному виданні, а також у 8-ми тезах Наукових зарубіжних конференцій (матеріали однієї з яких проіндексовано у наукометричній базі Scopus).

Основні наукові положення і рекомендації, які сформульовано в дисертаційній роботі, у повній мірі відображено в публікаціях дисертантки і пройшли апробацію на Міжнародних науково-технічних конференціях, у фахових та мультинаукових журналах, як українського та і закордонного видавництва.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи відображено в публікаціях рівномірно по розділах. Одночасно вони відбивають пріоритети авторки дисертації у розв'язуванні наукових та прикладних задач обраного нею наукового напрямку.

Публікації ЛИСЬ Д. А. задовольняють всім відповідним діючим чинним вимогам. Повнота відображення результатів дисертаційної роботи і вимоги щодо кількості публікацій відповідають вимогам, які пред'являються до дисертаційних робіт обраної спеціальності. Отримані результати наукових досліджень достовірні, достатньо обґрунтовані, мають наукову та прикладну значимість.

На підставі розгляду дисертаційної роботи та опублікованих робіт дисертанткою ЛИСЬ Д. А., вважаю, що нею вирішено важливу науково-технічну задачу, яка полягає у створенні та експериментальному дослідженні моделей, методів та засобів математичного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем. Одержані результати мають наукову новизну і практичне значення.

Результати дисертаційної роботи ЛИСЬ Д. А. впроваджено у Товаристві з обмеженою відповідальністю «Нафтогаз інженірінг проект» та у Товаристві з обмеженою відповідальністю «Нафтогазхім сервіс (ТОВ «НГХ Сервіс») OGC Service», які прийняли до впровадження нові ММ динамічних станів парорідинних двофазних систем, а також комплекс програмних засобів реалізації зазначених ММ.

6. Дискусійні питання та зауваження щодо змісту дисертації

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури зі 167 найменувань, трьох додатків, а також містить 23 рисунки та 3 таблиці. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 205 сторінок, в тому числі 176 сторінок основного тексту. Дисертація і анотація (українською та англійською мовами) оформлено згідно до вимог чинних законодавчих актів України та викладені послідовно, логічно і в цілому грамотно. В анотації повністю відображено основні положення дисертаційної роботи.

Однак, в **якості зауважень** до дисертаційної роботи, слід вказати наступне:

1. В тексті дисертаційної роботи (наприклад, при проведенні аналізу у першому розділі) зустрічаються випадки, коли представлено не повний перелік всіх можливих посилань на використані джерела при наведені авторкою деяких формул та рисунків.

2. Зважаючи на проблемну орієнтованість запропонованих математичних моделей, зокрема, у вигляді ВНЧП, доцільно було б пояснити фізичний зміст білінійних форм $a(\cdot)$ функціоналів $j(\cdot)$, які входять до їх складу.

3. В розділі 2 дисертаційної роботи розглядаються задачі моделювання (прогнозу) поточних динамічних станів двофазних парорідинних систем. З огляду на можливий вплив факторів зовнішнього середовища на динаміку систем, що досліджуються, доцільно було б розглянути також задачу параметричної ідентифікації запропонованих ММ.

4. В розділах 2.1 — 2.3, присвячених створенню ММ різних класів динамічних станів двофазних парорідинних систем, немає детального опису можливих форм геометричної області Ω , де відбувається динамічний рух.

5. Числова реалізація узагальненої ММ рівновагових динамічних станів двофазних парорідинних систем розглядається в розділі 3.2.1, причому в якості критерію закінчення ітераційного процесу за методом Зейделя запропоновано вираз (3.32). Проте не вказано на вплив величини заданої точності розв'язку δ_{l_i} в критерії (3.32) на число можливих ітерацій в ході розв'язування задачі моделювання, що, у підсумку, зумовлює загальний час обчислень.

6. Деякі рисунки (наприклад, 2.1, 2.3, 3.2 — 3.4) мають замалий розмір написів на виносках, що ускладнює сприйняття представленої на цих рисунках інформації.

7. В тексті дисертації зустрічаються стилістичні неточності, пов'язані, в основному, з формулюванням складно-складових мовних конструкцій.

Проте, слід відмітити, що наведені зауваження *не торкаються суті виконаних досліджень та не знижують позитивного враження від дисертаційної роботи.*

7. Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам

Вважаю, що зазначені зауваження не є принциповими і не знижують цінності проведеного дисертанткою дослідження, отриманої наукової новизни та практичної значущості дисертаційної роботи. Дисертація є завершеним науковим дослідженням, яке виконано на високому рівні. Викладення матеріалу дослідження логічне та послідовне, висновки та рекомендації обґрунтовані, результати достовірні.

Аналіз дисертації дає підстави для висновку про те, що дисертація ЛИСЬ Дар'ї Анатоліївни є завершеним, самостійним науковим дослідженням, яке має наукову новизну, теоретичне, наукове та практичне значення для теоретичних та практичних досліджень в галузі сучасної інженерії програмного забезпечення. За актуальністю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація **«Моделі, методи та засоби математичного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем»** відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44, із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022 року, а її авторка — ЛИСЬ Дар'я Анатоліївна — заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 12 — Інформаційні технології за спеціальністю 121 — Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент:

професор кафедри комп'ютерних наук
Кам'янець-Подільського
національного університету
імені Івана Огієнка,
доктор технічних наук, професор

Володимир ФЕДОРЧУК