

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

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора завідувача кафедри робототехнічних і телекомунікаційних систем та кібербезпеки Черкаського державного технологічного університету ПАЛАГІНА Володимира Васильовича 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 ступеню доктора філософії з галузі знань 12 — Інформаційні технології за спеціальністю 121 — Інженерія програмного забезпечення.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Інтенсивний розвиток фізичної механіки багатофазних середовищ зумовлено як класичними, так і новими задачами науки та техніки. Численні приклади в галузі енергетики, де двофазні середовища широко використовуються в якості основних робочих тіл, показують, що надто гостро назріла необхідність рішення проблем, пов'язаних з рухом двофазних парорідинних середовищ, в тому числі — у зв'язку з розвитком теплової та атомної енергетики — де, як відомо, використовуються турбіни різних типів.

Хвильові процеси в механіці двофазних систем займають особливе місце, оскільки найбільш яскраво ефекти неоднофазності проявляються при розповсюдженні хвиль, а з іншого боку, акустичні хвилі в таких системах — найбільш доступний та ефективний спосіб вивчення структури самої двофазної системи. Тому, задача дослідження динамічного стану щодо виникнення та розвитку хвильових процесів у парорідинних двофазних системах має важливе прикладне значення у практичних застосунках.

Дисертаційну роботу ЛИСЬ Д. А. присвячено створенню моделей та методів математичного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем, а також у розробці інструментальних програмно-алгоритмічних засобів моделювання, які забезпечують конструктивний розв'язок задач в практиці наукових досліджень та інженерних розрахунків для широкої гами прикладних проблем в різних галузях промисловості. Тому, тема дисертації здобувачки ЛИСЬ Д. А.: **«Моделі, методи та засоби математичного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем»** є *актуальною* і має важливе практичне значення в галузі інженерії програмного забезпечення.

Актуальність роботи засвідчено, зокрема, позитивними висновками наведених в роботі актів про впровадження результатів досліджень, підтверджена

результатами та активною участю здобувачки в науково-дослідних роботах кафедри.

2. ЗВ'ЯЗОК РОБОТИ З НАУКОВИМИ ПРОГРАМАМИ, ТЕМАМИ

Дисертаційну роботу ЛИСЬ Д. А. виконано на кафедрі комп'ютеризованих систем та програмних технологій Навчально-наукового Інституту комп'ютерних систем Національного університету «Одеська політехніка», в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт (НДР): «Засоби моніторингу динамічних об'єктів, засновані на застосуванні моделей у вигляді нечітких множин» № 152 – 63, 2018 — 2021 р. р. (номер держ. реєстрації 0118U006825) та «Методи та програмні засоби інтерпретації моделей машинного навчання непараметричних динамічних об'єктів» №210-63, 2021 — 2025 р. р. (номер держ. реєстрації 0122U002161) Національного університету «Одеська політехніка». Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри.

Зміст дисертаційної роботи, її основні задачі відповідають постанові Президії НАН України від 30.01.2019 № 30: «Про Основні наукові напрямки та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук Національної академії наук України на 2019–2023 роки».

3. НАУКОВА НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Виконана дисертаційна робота своїми результатами вносить вклад в розвиток відповідних розділів математичного моделювання та ідентифікації нелінійних динамічних систем. В результаті проведеного дослідження авторкою було отримано нові наукові та практичні результати. Уперше, на рівні дисертаційних досліджень за спеціальністю 121 — Інженерія програмного забезпечення, було запропоновано методи обчислювальної реалізації узагальнених математичних моделей (ММ) рівновагових та нерівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем. Причому, в першому випадку, метод полягає у дискретизації неперервних ММ за явно-неявною схемою та наступному розв'язуванні результуючої системи дискретних алгебраїчних рівнянь за ітераційним процесом Зейделя, а у другому — метод полягає у розв'язуванні оптимізаційної задачі і зводиться до пошуку максимуму функції Гамільтона, записаної для розширеної узагальненої ММ досліджуваного динамічного стану. Дані методи дозволяють скоротити обчислювальні витрати при числовій реалізації дискретних аналогів неперервних ММ за рахунок застосування економічних різницевих схем.

Авторкою дисертаційної роботи було поставлено і розв'язано такі задачі:

- визначено проблематику основних задач моделювання та ідентифікації динамічних станів парорідинних двофазних систем;
- обґрунтовано підходи до математичної формалізації динамічних станів парорідинних двофазних систем, заснованих на застосуванні диференційних рівнянь у частинних похідних (ДРЧП) та варіаційних нерівностей у частинних похідних (ВНЧП), відповідно у випадках рівновагових та нерівновагових динамічних станів;

- розроблено математичні моделі (ММ) динамічних станів парорідинних двофазних систем, що являють собою крайові задачі для відповідних ДРЧП та ВНЧП, виконано узагальнення та аналіз якісних характеристик отриманих моделей;
- розроблено дискретні ММ рівновагових та нерівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем, що враховують їх (станів) основні якісні властивості та ґрунтуються на економічних різницевих схемах, а також методи числової реалізації цих моделей;
- розроблено інструментальні програмно-алгоритмічні засоби (ІПАЗ) комп'ютерного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем;
- визначено коректність і адекватність модельної підтримки відповідних ІПАЗ та оцінено їх (засобів) прикладні можливості на прикладах реальних інженерних задач.

Висновки та пропозиції здобувачки викладено лаконічно та змістовно. Наукову новизну дослідження сформульовано автором самостійно, вона має належний рівень обґрунтованості та вірогідності.

4. КОРОТКИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНОГО ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ

Зміст дисертації має логічний, послідовний виклад матеріалу, достатню аргументацію та наочну візуалізацію завдяки представленню та узагальненню результату роботи у вигляді таблиці та додатків.

У **вступі** представлено актуальність дослідження, загальну характеристику роботи, обґрунтовується тема дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження, наведено методи, основні наукові та практичні результати, які виносяться на захист.

У **першому розділі** підкреслено, що багатофазність та неоднорідність зумовлюють гетерогенні властивості рідин, які знаходяться у динамічних процесах — русі в просторовій області Ω , обмеженій границею Γ . Показано фізичні явища, притаманні динамічним станам паро-(газо-)рідинних двофазних систем, і відзначено їх нерівновагові та псевдопластичні (ділатантні) властивості, що зумовлює якісні прояви картини перебігу цих процесів: виражену спрямованість розвитку, наявність граничного градієнту та в'язкопружність.

Виконано аналіз підходів до математичної формалізації динамічних станів паро-(газо-)рідинних двофазних систем та розглянуто ММ, які існують для опису даних процесів. Зазначено, що у практиці математичного моделювання досліджуваних двофазних систем існує брак їх адекватних ММ. Показано, що виражена спрямованість динамічної поведінки досліджуваних двофазних систем зумовлює інтерес до їх математичної формалізації на основі апарату варіаційних нерівностей.

Досліджено проблематику основних задач математичного моделювання динамічних станів паро- (газо-) рідинних двофазних систем. Підтверджено необхідність систематизації і класифікації динамічних станів паро-(газо-)рідинних двофазних систем та розробки на їх основі нових ММ досліджуваних процесів у вигляді варіаційних нерівностей.

Другий розділ присвячено дослідженню типових випадків станів

парорідинних двофазних систем, серед яких, як найбільш поширених на практиці, розглянуто: динамічний бульбашковий стан утворення та розповсюдження хвиль; динамічний бульбашковий стан утворення та розповсюдження хвиль з «комірковою» формою існування бульбашок; динамічний стан за наявності у рідинній складовій границі розділу для компонент з різними фізико-хімічними властивостями (зокрема, густинами та реологією).

Запропоновано ММ, які, на відміну від існуючих, описують не тільки фазові переходи, а і враховують теплові ефекти при появі парової фази та теплові втрати у зовнішнє середовище. Моделі побудовано на основі строгого врахування законів збереження (маси та енергії) і представлено у вигляді диференційних рівнянь або еволюційних варіаційних нерівностей у частинних похідних, що дозволило адекватно представити процеси, які досліджуються.

Виконано узагальнення математичного опису рівновагових та нерівновагових динамічних станів двофазних парорідинних систем.

Сформульовано і коректно, у вигляді відповідних теорем, доведено умови існування та єдиності розв'язків диференційних рівнянь та варіаційних нерівностей, які утворюють запропоновані ММ типових випадків динамічних станів парорідинних двофазних систем.

У **третьому розділі** запропоновано метод числової реалізації узагальненої ММ рівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем, який зводиться до дискретизації неперервної узагальненої ММ за явно-неявною схемою та наступному розв'язуванні результуючої системи дискретних алгебраїчних рівнянь за ітераційним процесом Зейделя.

Також запропоновано метод числової реалізації узагальненої ММ нерівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем. Метод засновано на розв'язуванні оптимізаційної задачі і зводиться до пошуку максимуму функції Гамільтона, записаної для розширеної узагальненої ММ динаміки нерівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем.

Розроблено алгоритми, які реалізують в уніфікованій формі запропоновані методи розв'язування математичних співвідношень, що складають ММ рівновагових та нерівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем. Виконано числове дослідження дискретних аналогів узагальнених ММ рівновагових та нерівновагових динамічних станів парорідинних двофазних систем, яке на тестових прикладах показало ефективність застосування запропонованих ММ та методів їх реалізації.

У **четвертому розділі** запропоновано інструментальні програмно-алгоритмічні засоби (ІПАЗ) розв'язання задач математичного моделювання динамічних станів у парорідинних двофазних системах. Запропоновані ІПАЗ реалізовано на платформі спеціалізованого пакету Matlab, і при цьому використовують ToolBox Matlab в якості інструментальної бази. Розглянуто досвід застосування розроблених у дисертаційній роботі ММ та методів їх обчислювальної реалізації в практиці дослідження динамічних станів у парорідинних двофазних системах.

Проведено числові експерименти, що підтвердило конструктивність та практичну значущість розроблених ММ, обчислювальних методів та ІПАЗ їх

реалізації при розв'язуванні широкого кола реальних задач дослідження динамічних станів у парорідинних двофазних системах, які, в силу природних особливостей перебігу фізичних процесів, виникають галузях енергетики, хімічної (нафтохімічної), добувної та переробної галузей промисловості.

У додатках представлено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, деякі математичні викладки, а також вигляд вікон інтерфейсу розроблених ІПАЗ.

Таким чином, зібраний у дисертаційній роботі ЛИСЬ Д. А. теоретичний та практичний матеріал був проаналізовано авторкою з використанням різноманітних підходів, принципів і методів наукового пошуку, що дозволило забезпечити обґрунтованість і достовірність зроблених у дисертаційному дослідженні висновків.

5. СТУПІНЬ ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ, ЇХ ДОСТОВІРНІСТЬ

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи ЛИСЬ Д. А. достатньо обґрунтовано коректним використанням математичного апарату, логічно впливають з результатів, отриманих за допомогою чітких викладок, підкріплені успішною реалізацією, ефективним практичним впровадженням результатів дисертаційних досліджень.

Обґрунтованість наукових положень та висновків, сформульованих у дисертаційній роботі, є достатньою і базується на детальному аналізі джерел за даною проблемою, чіткій постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, а також проявляється у якісному та аргументованому формулюванні висновків.

Достовірність та обґрунтованість запропонованих методів і засобів підтверджується результатами експериментальних досліджень та коректним застосуванням методів математичного та комп'ютерного моделювання, які були використані під час виконання роботи.

6. ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

Достовірність результатів дисертаційного дослідження підтверджується їх практичним впровадженням.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропоновані моделі, методи та засоби моделювання дозволяють розширити клас важливих для практики задач дослідження динамічних станів парорідинних двофазних систем, а також створено комплекс ІПАЗ розв'язування прикладних задач моделювання останніх (зокрема, виникнення і розвитку хвильового режиму, бульбашкового режиму та формування границі розділу компонент у рідинній складовій). Застосування комплексу ІПАЗ забезпечує скорочення часу моделювання в (1,2...1,4) рази за рахунок автоматизації процедур обчислювального процесу.

Тому можна стверджувати, що висновки та розв'язки практичних задач, отримані у дисертаційній роботі, коректні, достатньо обґрунтовані і можуть бути рекомендовані до використання при розробці лекційних курсів з дисциплін:

«Автоматизація виробничих процесів», «Автоматизація проектування систем управління», «Моделювання систем і технологічних процесів», які поставлено і читаються на кафедрі комп'ютеризованих систем і програмних технологій Національного університету «Одеська політехніка».

7. ОФОРМЛЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ПОВНОТА ВИКЛАДУ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи становить 205 сторінок, з яких 176 сторінок основного тексту. У роботі наведено 23 рисунка, 3 таблиці, 3 додатка. Список використаних джерел містить 167 найменування. Дисертацію оформлено відповідно до вимог, визначених Міністерством освіти і науки України.

Дисертаційна робота має логічну структуру. Основні висновки і рекомендації логічно витікають із результатів, які наведено у розділах роботи. Отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Основні наукові положення і рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі, у повній мірі відображені в публікаціях здобувача і пройшли апробацію на Міжнародних науково-технічних конференціях.

Основні результати дослідження опубліковано 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; у 1-й статті, яку опубліковано у зарубіжному виданні, а також у 8-ми тезах Міжнародних наукових конференцій (матеріали однієї з яких проіндексовано у наукометричній базі Scopus).

Основні положення дисертації повністю викладено в опублікованих працях. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

8. ВІДСУТНІСТЬ (НАЯВНІСТЬ) ПОРУШЕННЯ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ

Запозичення, виявлені в роботі ЛИСЬ Д. А., є загальновживаними та не є плагіатом. Відсутність порушення академічної доброчесності підтверджується проведенням перевірки за допомогою програми StrikePlagiarism.

Таким чином, у результаті вивчення дисертаційної роботи порушень академічної доброчесності не було виявлено.

9. МОВА ТА СТИЛЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Дисертацію написано логічно, доступно, на високому науково-технічному рівні з використанням сучасної термінології.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають чинним нормам, які підтверджують що дисертантка ЛИСЬ Д. А. оволоділа методологією

наукової діяльності, яка відповідає освітньо-науковій програмі (ОНП) 121 – Інженерія програмного забезпечення, що доведено отриманими науковими результатами, які викладено у науковій новизні. Методологія наукового пізнання, яку застосовано при розв’язанні основних задач у відповідності до мети роботи, узгоджується з ціллю освітньо-наукової програми ОНП третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 121 — Інженерія програмного забезпечення. Отримані наукові результати дисертаційної роботи відповідають програмним, предметним, фаховим і інноваційним компетентностям ОНП спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Основні результати повною мірою відзеркалено в опублікованих працях авторки. Висновки до розділів та загальні висновки дисертації є достатньо обґрунтованими, а пропозиції мають практичну значущість. Дисертацію викладено науковою мовою, розділи дисертації пов’язано між собою структурно і змістовно, висновки ґрунтуються на результатах проведеного дослідження, що, своєю чергою, є достатньо аргументованими та доказовими.

10. ЗАУВАЖЕННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЇ

Загалом дисертаційну роботу виконано на достатньому науково-теоретичному та практичному рівнях, робота важливе практичне значення, що не виключає можливості критичного підходу до окремих позицій здобувачки, та дозволяє висловити певні міркування та зауваження.

В якості *зауважень* до дисертаційної роботи слід вказати наступне:

1. Дисертаційна робота містить детальну класифікацію динамічних станів двофазних парорідинних систем. Варто було б дослідити, наскільки ефективними будуть запропоновані в дисертаційній роботі математичні моделі та засоби моделювання при прогнозуванні інших, крім розглянутих в дисертаційній роботі типових (бульбашкового стану утворення та розповсюдження хвиль; бульбашковий стан утворення та розповсюдження хвиль з «комірковою» формою існування бульбашок; стан за наявності у рідинній складовій границі розділу для компонент з різними фізико-хімічними властивостями) станів двофазних парорідинних систем, що також мають місце на практиці.

2. Варто було б при характеристиці запропонованих ММ двофазних парорідинних систем зазначити вплив «гладкості» границі Γ просторової області Ω на отримані розв’язки математичних виразів, що визначають динаміку відповідних станів досліджуваних систем.

3. При розробці кінцевовимірних ММ рівновагових динамічних станів двофазних парорідинних систем із застосуванням явно-неявної різницевої схеми з параметром $\sigma=1$, яку було обрано в дисертаційній роботі, однією з характеристик, що впливає на час обчислень в ході їх виконання, є «складність» різницевих рівнянь. З тексту дисертаційної роботи незрозуміло, чи виконувались при виборі різницевої схеми додатково відповідні дослідження?

4. Перший розділ дисертаційної роботи перевантажено оглядовим матеріалом, який можна було віднести у додатки.

5. Деякі рисунки не дозволяють чітко відобразити винесені на них

позначки, що ускладнює їх сприйняття.

6. В тексті дисертаційної роботи зустрічаються граматичні та стилістичні помилки кількості яких, проте, цілком природна для друкованих робіт такого обсягу.

Проте, вказані зауваження *не впливають* на загальне позитивне враження від представленої дисертаційної роботи та не знижують її якість, наукової та практичної цінності.

11. ВИСНОВКИ ЩОДО ДИСЕРТАЦІЇ В ЦІЛОМУ

Представлена дисертаційна робота «Моделі, методи та засоби математичного моделювання динамічних станів парорідинних двофазних систем» є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати. Наукові публікації, в яких викладено основні результати роботи, мають високий науковий рівень. Дисертація за своїм змістом та оформленням задовольняє чинним вимогам і є завершеним самостійним науковим дослідженням, в якому є нові науково-обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують складну актуальну науково-технічну задачу.

Одержані наукові та практичні результати є значущими для галузі інформаційних технологій в цілому та інженерії програмного забезпечення зокрема. Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Отже, з огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизну та практичну цінність, повноту викладення в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація цілком 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 наукового ступеню доктора філософії у галузі знань 12 — Інформаційні технології за спеціальністю 121 — Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент:
завідувач кафедри робототехнічних і
телекомунікаційних систем та кібербезпеки
Черкаського державного
технологічного університету,
доктор технічних наук, професор

Володимир ПАЛАГІН

Підпис В.Палагіна «Завіряю»
Учений секретар Черкаського державного
технологічного університету,
кандидат технічних наук, доцент

Ірина МИРОНЕЦЬ