



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»

Іван ДЕМИДОВ

"19" грудня 2024 р.

Висновок

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Математичне моделювання процесів сушіння багатокомпонентних капілярно-пористих тіл з урахуванням фазових змін» здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика (галузь знань 11 Математика та статистика) Анатолія ДМИТРУКА наукового семінару кафедри прикладної математики Навчально-наукового інституту прикладної математики та фундаментальних наук № 5 від 10 грудня 2024 р.

1. Актуальність теми дисертації

Посилення екологічної кризи, необхідність зниження негативного впливу промислових процесів на навколишнє середовище та зростання вимог до енергоефективності виробничих систем викликало нову хвилю уваги наукової спільноти до проблем сушіння — одного з найбільш енерговитратних процесів промисловості. Економічно вигідним методом дослідження процесів сушіння є математичне моделювання. Тому створення нових і вдосконалення існуючих математичних моделей та аналітично-числових методів для дослідження процесів сушіння, розроблених відповідно до сучасних екологічних викликів, відіграє важливу роль у зниженні згаданих негативних наслідків, сприяючи екологічній стійкості та підтримці сталого розвитку.

Особливий інтерес становить сушіння багатокомпонентних тіл капілярно-пористої структури. Такі матеріали, як зернові культури, будівельні матеріали, ґрунтові суміші, а також харчові продукти (молочні порошки, сушені фрукти, кава) тощо, широко застосовуються в промисловості, сільському господарстві, будівництві та харчовій галузі. Процес сушіння має вирішальне значення для збереження їхніх фізичних, механічних та хімічних властивостей.

Процес сушіння здебільшого описується макроскопічними моделями механіки і тепломасопереносу. При цьому структура та склад об'єкта сушіння визначають ключові параметри, такі як теплопровідність і коефіцієнти дифузії, що

впливають на тепломасоперенос, а також проникність і капілярний тиск, які впливають на динаміку переносу вологи в пористій структурі. Це вимагає комплексного дослідження взаємозв'язку між структурою матеріалу і фізичними процесами сушіння. У результаті таких досліджень можна зрозуміти, як капілярно-пориста структура багатокомпонентного тіла впливає на перебіг тепломасопереносу та механічних процесів у ньому, що дозволяє оптимізувати сушіння, скорочуючи його тривалість, знижуючи енергоспоживання та викиди парникових газів — важливі аспекти для дотримання сучасних екологічних стандартів.

Для максимально точного відтворення фізичних процесів тепломасопереносу і врахування складних вхідних даних моделі сушіння багатокомпонентних тіл капілярно-пористої структури здебільшого базуються на принципах і методах термодинаміки незворотних процесів та законів течіння рідин та газів. При цьому важливим завданням залишається точне відображення їхньої локальної структури, яка характеризується складною внутрішньою будовою з нерівномірно розподіленими твердими, рідкими та газовими фазами. Зміна фазових станів компонентів під час сушіння, а також їхній вплив на напружено-деформований стан матеріалу вимагають врахування процесів тепломасопереносу, масопереносу та випаровування. Для опису цих процесів застосовуються теорія сумішей і механіка багатошвидкісних систем, що дозволяють моделювати багатофазність матеріалу, а капілярні моделі враховують особливості переносу в пористій структурі. Комбіновані методи з гомогенізацією усереднюють властивості неоднорідних матеріалів у механічних задачах, тоді як методи ефективних властивостей і стохастичні моделі враховують вплив структурних факторів на тепломасообмін і фазові переходи, забезпечуючи точне відображення складної взаємодії фаз.

Однак наявні моделі, часто оперуючи спрощеними припущеннями, не завжди забезпечують достатню точність, що призводить до похибок у прогнозуванні динаміки процесів сушіння та результатів деформацій. Це створює потребу в розробці нових підходів, які б точніше відображали реальні процеси сушіння в капілярно-пористих матеріалах. Тому розробка нових математичних моделей процесів тепломасопереносу та визначення напружено-деформованого стану багатокомпонентних тіл капілярно-пористої структури під час різних режимів сушіння, з урахуванням неоднорідності тіла, фазових змін, а також розвиток методів розв'язання відповідних крайових задач і побудова алгоритмів аналітико-числового дослідження цих процесів зумовили вибір теми дослідження: «Математичне моделювання процесів сушіння багатокомпонентних капілярно-пористих тіл з урахуванням фазових змін».

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри. Тема дисертації відповідає науковому напряму кафедри прикладної математики Навчально-наукового інституту прикладної математики та фундаментальних наук Національного університету «Львівська політехніка» — Розроблення математичних моделей і методів їх

чисельної реалізації для опису природничих і суспільних явищ. Дисертаційне дослідження виконане в межах науково-дослідної роботи «Дослідження складних систем: математичні моделі, алгоритми та програмне забезпечення» (номер державної реєстрації 0124U004651, термін виконання 11.2024–12.2028), що входить до плану науково-дослідних робіт кафедри прикладної математики Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Мета дослідження відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки та техніки в Україні, зокрема впровадженню енергоефективних та екологічно безпечних технологій у промислових процесах. Робота спрямована на зниження енергоспоживання та обсягів відходів, а також скорочення викидів парникових газів, що є важливим для досягнення екологічної стійкості.

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів Усі наукові результати дисертаційної роботи належать особисто здобувачеві. В опублікованих працях, виконаних у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає у: побудові моделей, що описують процеси сушіння багатокомпонентних капілярно-пористих тіл з урахуванням їх структурної неоднорідності та фазових змін за природного, конвективного та активного гідродинамічного режимів сушіння; розвитку та обґрунтуванні аналітико-числових методів для реалізації математичних моделей процесів сушіння дисперсних матеріалів капілярно-пористої структури за різних режимів подачі сушильного агента; чисельному моделюванню теплоперенесення та вологоперенесення в багатокомпонентному капілярно-пористому шарі та його окремії частинці з урахуванням фазових переходів, а також визначенні напружено-деформованого стану частинки при сушінні в різних режимах; створенні пакету комп'ютерних програм, що дозволяють досліджувати динаміку тепломасопереносу та напружено-деформованого стану багатокомпонентних капілярно-пористих тіл під час гідродинамічного сушіння; оптимізації процесів сушіння дисперсних матеріалів на основі встановлених закономірностей розподілу тепла та вологи у часі в структурних компонентах багатозначних дисперсних систем, з урахуванням параметрів сушильних установок та властивостей матеріалів.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій. Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечується теоретичним обґрунтуванням створених математичних моделей тепломасопереносу та механодифузії в багатокомпонентних капілярно-пористих тілах під час природного, конвективного та активного гідродинамічного сушіння. Обґрунтованість математичних моделей підтверджена застосуванням термодинаміки нерівноважних процесів, гомогенізаційного підходу та методів механіки суцільного середовища для опису впливу мікроструктурних неоднорідностей і фазових переходів на динаміку процесів сушіння.

Несуперечливість отриманих теоретичних результатів підтверджена

числовими експериментами, результати яких узгоджуються з існуючими в літературі даними, отриманими із застосуванням класичних методів моделювання. Використання середніх ефективних коефіцієнтів теплопровідності, дифузії та пружності дозволило значно спростити опис процесів тепломасопереносу, забезпечуючи при цьому точне врахування впливу мікроструктури на глобальні фізичні процеси.

Наукова обґрунтованість результатів підтверджується їх відповідністю сучасним підходам у галузі математичного моделювання, а також збігом числових результатів із даними, отриманими іншими авторами для аналогічних систем. Достовірність результатів підтверджена апробацією наукових положень на п'яти міжнародних науково-технічних конференціях та семінарах, де вони отримали позитивну оцінку, а також актами впровадження отриманих наукових результатів на одному підприємстві та в навчальний процес одного закладу освіти.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру. Наукова новизна результатів дослідження полягає в тому, що *вперше*

- побудовано математичну модель теплопровідності та механодифузії в шарі дисперсного матеріалу капілярно-пористої структури та в окремих його частинках під час активного гідродинамічного сушіння в імпульсному режимі. Побудована модель, на відміну від інших, враховує внутрішню неоднорідну структуру частинок (двошарова структура), що дозволяє визначити вологість, температуру, напружено-деформований стан тіла в будь-якій точці багатофазної багатокомпонентної системи в залежності від швидкості та імпульсного режиму подачі сушильного агента;
- для шару дисперсного матеріалу складеного з частинок капілярно-пористої структури сформульовано повну систему співвідношень для опису процесів активного гідродинамічного осушення та на їх основі розв'язав нові задачі про вплив імпульсного характеру подачі сушильного агента та місцезнаходження частинки в шарі на процес сушіння;
- розроблено та обґрунтовано ефективний метод побудови аналітичних розв'язків з'єднаних контактено-крайових задач теплопровідності та механодифузії в шарі дисперсного матеріалу капілярно-пористої структури та в його окремих частинках за імпульсного характеру дії збурюючих функцій температури та вологовмісту сушильного агента із урахуванням неоднорідності частинки та її розташування в шарі;
- розроблено та обґрунтовано аналітично-числовий метод для визначення напружено-деформованого стану окремої дисперсної частинки в шарі дисперсного матеріалу капілярно-пористої структури за заданими концентрацією вологи та температурою у будь-якій точці частинки вздовж радіусу під час активного гідродинамічного сушіння. Метод враховує параметри режиму сушіння (швидкість продуву, циклічність дії, температуру та вологість), що дозволяє уточнити вплив цих режимних параметрів на структурну стабільність частинки протягом процесу сушіння;

- знайдено розв'язки контактної-крайових задач нестационарних процесів тепломасопереносу та механодифузії у шарі дисперсного матеріалу, що складається з частинок капілярно-пористої структури, враховуючи двошаровість частинки, за імпульсної дії сушильного агента.

Подальшого розвитку набула модель механодифузії в шарі дисперсного матеріалу капілярно-пористої структури та в його окремих частинках під час усталеного природного або стимульованого осушення продуванням цього шару потоком сушильного агента з урахуванням багатокomпонентної структури частинок шляхом корекції початкових умов на концентрацію вологи в міждисперсному просторі, що дозволило підвищити рівень адекватності математичного опису процесів конвективного сушіння дисперсних матеріалів капілярно-пористої структури та забезпечило науково-обґрунтовану аналітико-числову реалізацію розв'язування відповідних контактної-крайових задач за крайових умов першого роду та змішаних крайових умов.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Статті, у виданнях, які включені до наукометричних баз даних:

1. Gayvas B., Dmytruk V., Torskyu A., Dmytruk A. On methods of mathematical modeling of drying dispersed materials // *Mathematical Modeling and Computing*. 2017. Vol. 4, No. 2. P. 139-147. (SciVerse SCOPUS).
2. Gayvas B. I., Markovych B. M., Dmytruk A. A., Havran M, Dmytruk V. A. Numerical modeling of heat and mass transfer processes in a capillary-porous body during contact drying // *Mathematical Modeling and Computing*. 2023. Vol. 10, No. 2. P. 387-399. (SciVerse SCOPUS).
3. Gayvas B., Markovych B., Dmytruk A., Havran M., Dmytruk V. The methods of optimization and regulation of the convective drying process of materials in drying installations // *Mathematical Modeling and Computing*. 2024. Vol. 11, iss. 2. P. 546-554. (SciVerse SCOPUS).
4. Dmytruk A. Modeling convective mass transfer processes in multicomponent capillary-porous bodies under mixed boundary conditions // *Mathematical Modeling and Computing*. 2024. Vol. 11, iss. 4. P. 978-986. (SciVerse SCOPUS).

Статті у наукових фахових виданнях України:

5. Гайвась Б. І., Дмитрук В. А., Дмитрук А. А. Сушіння зерна в активних гідродинамічних режимах з урахуванням шаруватості його структури // *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології: науковий збірник*. 2016. Вип. 23. С. 29-41.
6. Гайвась Б. І., Дмитрук В. А., Дмитрук А. А. Визначення напружено-деформованого стану зернини в залежності від її місцерозміщення в газозваженому стані в імпульсному режимі осушення // *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології: науковий збірник*. 2016. Том 24. С. 14-26.

Публікації в матеріалах конференцій:

7. Гайвась Б. І., Дмитрук В. А., Торський А. Р., Дмитрук А. А. Модель імпульсного осушення шару зерна з врахуванням неоднорідної структури зернини // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 18-ої Міжнародної науково-технічної конференції SAIT-2016 (Київ, 30 травня 2 червня 2016 р.). 2016. С. 63-64.
8. Гайвась Б. І., Дмитрук В. А., Дмитрук А. А., Торський А. Р. Пакет програм для дослідження сушіння зерна пшениці в газозваженому стані за імпульсної дії сушильного агента // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 19-ої Міжнародної науково-технічної конференції SAIT-2017 (Київ, 22–25 травня 2017 р.). 2017. С. 55-57.
9. Gayvas Bogdana, Dmytruk Veronika, Kaminska Oksana, Pastyrskaya Iryna, Dmytruk Anatolii, Nezhoda Svitlana. Simulation of crack resistance of mustard in pulsed drying mode // Комп'ютерні науки та інформаційні технології: матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції CSIT-2020 (Збараж, 23–26 вересня 2020 р.). 2020. С. 91-95. (SciVerse SCOPUS).
10. Gayvas B., Markovych B., Dmytruk A., Dmytruk V., Kushka B., Senkovych O. Study of contact drying granular materials in fluidized bed dryers // Direct and inverse problems of electromagnetic and acoustic wave theory: proceedings of 2023 IEEE XXVIIIth International seminar/workshop DIPED-2023 (Tbilisi, September 11-13, 2023). 2023. С. 238-241. (SciVerse SCOPUS).
11. Dmytruk A. A., Torskyu A. R. Convective drying the multi-component porous materials: software development // Математичні проблеми механіки неоднорідних структур: матеріали 11-тої Міжнародної наукової конференції МПМНС-2024 (Львів, 24–26 вересня 2024 р.). 2024. С. 89-90.

Усі наукові результати дисертаційної роботи належать особисто здобувачеві.

В опублікованих працях, виконаних у співавторстві, здобувачеві належить:

[5, 7, 10] – побудова моделей процесів сушіння багатокомпонентних капілярно-пористих тіл з урахуванням їх структурної неоднорідності та фазових змін за природного, конвективного та активного гідродинамічного режимів сушіння;

[1, 4, 6] – розвиток та обґрунтування аналітико-числових методів для реалізації математичних моделей процесів сушіння дисперсних матеріалів капілярно-пористої структури за різних режимів подачі сушильного агента;

[2, 9] – чисельне моделювання теплоперенесення та вологоперенесення в багатокомпонентному капілярно-пористому шарі та його окремі частинці з урахуванням фазових переходів і визначення напружено-деформованого стану частинки при сушінні в різних режимах;

[8, 11] – створення пакету комп'ютерних програм, що дозволяють досліджувати динаміку тепломасопереносу та напружено-деформованого стану багатокомпонентних капілярно-пористих тіл під час гідродинамічного сушіння;

[3] – оптимізація процесів сушіння дисперсних матеріалів на основі встановлених закономірностей розподілу тепла та вологи у часі з урахуванням параметрів сушильних установок та властивостей матеріалів.

Висновок: основні положення та результати роботи повно і всебічно відображені у наукових публікаціях здобувача, що включають статті у виданнях, індексованих міжнародними наукометричними базами (Scopus), фахових наукових виданнях України та матеріалах міжнародних конференцій.

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо. Основні результати дисертаційної роботи висвітлено у доповідях та обговорено на:

- 18-й Міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз та інформаційні технології», SAIT-2016 (м. Київ, 30 травня – 2 червня 2016 р.);
- 19-й Міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз та інформаційні технології», SAIT-2017 (м. Київ, 22–25 травня 2017 р.);
- XV Міжнародній науково-технічній конференції «Комп’ютерні науки та інформаційні технології», CSIT-2020 (м. Збараж, 23–26 вересня 2020 р.);
- XXVIII Міжнародному семінарі/воркшопі IEEE «Прямі та обернені задачі теорії електромагнітних та акустичних хвиль», DIPED-2023 (м. Тбілісі, 11–13 вересня 2023 р.);
- XI Міжнародній науковій конференції «Математичні проблеми механіки неоднорідних структур», МПМН-2024 (м. Львів, 24–26 вересня 2024 р.).

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати. Наукове значення дисертаційного дослідження полягає у розробленні термодинамічно обґрунтованих математичних моделей тепломасопереносу та механодифузії в багатокомпонентних капілярно-пористих тілах під час природного, конвективного та активного гідродинамічного сушіння, а також у створенні аналітико-числових методів реалізації цих моделей. Врахування фазових переходів, структурної неоднорідності матеріалів та режимних параметрів сушильного агента дозволило отримати точний опис розподілу температури, вологості та напружено-деформованого стану тіл у процесі сушіння. Запропоновані моделі та методи сприяють оптимізації процесів сушіння дисперсних матеріалів, що є важливим для впровадження енергоефективних технологій і зниження шкідливих викидів у промислових процесах.

Отримані результати можуть бути застосовані в таких наукових галузях та розділах програм навчальних курсів:

- Тепломасообмін та термодинаміка. Розділи курсів: “Основи тепломасопереносу”, “Термодинаміка нерівноважних процесів”, “Фазові переходи у пористих середовищах”. Застосування: опис теплопередачі, масопереносу та фазових переходів у капілярно-пористих тілах.
- Механіка деформівного твердого тіла та суцільних середовищ. Розділи курсів: “Механіка капілярно-пористих матеріалів”, “Напружено-деформований стан середовищ”, “Механіка багатозазних систем”. Застосування: моделювання напружено-деформованого стану матеріалів під час сушіння.
- Математичне моделювання та обчислювальні методи. Розділи курсів: “Числові

методи для крайових задач”, “Математичне моделювання фізичних процесів”, “Методи гомогенізації та стохастичні моделі”. Застосування: розробка аналітико-числових методів для задач тепломасопереносу з урахуванням неоднорідностей.

- Інженерія харчових технологій та аграрних систем. Розділи курсів: “Технології сушіння харчових продуктів”, “Оптимізація сушильних процесів”, “Енергоефективні технології в аграрній інженерії”. Застосування: оптимізація промислових процесів сушіння зернових продуктів для зниження енергоспоживання.

- Програмна інженерія та комп’ютерне моделювання. Розділи курсів: “Розробка інженерного програмного забезпечення”, “Моделювання фізичних процесів”, “Комп’ютерні методи в наукових дослідженнях”. Застосування: створення програмних продуктів для моделювання тепломасопереносу та напружено-деформованого стану тіл під час сушіння.

Таким чином, результати дослідження є міждисциплінарними та можуть бути використані як для подальших наукових досліджень, так і в освітньому процесі під час викладання дисциплін технічних, фізико-математичних та інженерних напрямів підготовки.

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані.

За допомогою розроблених аналітико-числових методів отримано розв’язки контактної-крайових задач нестационарних процесів тепломасопереносу та механо дифузії у шарі дисперсного матеріалу, складеного з частинок капілярно-пористої структури. Вони стали основою для створення комп’ютерних програм дослідження гідродинамічних процесів сушіння багатокомпонентних капілярно-пористих матеріалів за імпульсного режиму подачі сушильного агента. Розроблений пакет програм дозволяє визначати значення концентрації вологи, температури та компонентів напружень в окремих частинках залежно від їх структурної неоднорідності, місцезнаходження у шарі та режимних параметрів сушильного агента в умовах гідродинамічного сушіння. Розроблений програмний пакет може бути використаний на підприємствах, які спеціалізуються на сільському господарстві, харчовій промисловості, машинобудуванні, проектуванні сушильного обладнання та в галузі екологічного інжинірингу.

Результати дисертаційної роботи вже впроваджено на підприємстві «ТРАМБЕТОН Україна» для оптимізації технологічного процесу виготовлення залізобетонних виробів. Моделювання та оптимізація профілів температури та вологості на різних етапах сушіння матеріалів дозволили покращити якість кінцевої продукції та знизити енерговитрати на сушіння, що сприяло підвищенню продуктивності виробництва та зниженню витрат на 7% (акт від 15.10.2024 р.).

Результати наукових досліджень також використано у Національному університеті «Львівська політехніка» для підготовки аспірантів у рамках навчальної дисципліни «Математичне моделювання нерівноважних систем» за

спеціальністю 113 *Прикладна математика*. Побудовані наукові моделі та програмне забезпечення забезпечують вивчення процесів тепломасопереносу та механодифузії у багатокомпонентних капілярно-пористих тілах під час гідродинамічного сушіння, що сприяє підвищенню кваліфікації студентів у моделюванні складних технологічних процесів (акт від 04.11.2024 р.).

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення. Дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел (179 найменувань, з них 72 – іноземними мовами) та 2 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 171 сторінку, з них 146 сторінок основного тексту.

Мова викладення чітка, наукова та відповідає академічним стандартам. Стиль роботи логічний, структурований і забезпечує доступність сприйняття матеріалу.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

11. З урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри прикладної математики Навчально-наукового інституту прикладної математики та фундаментальних наук ухвалили:

11.1. Дисертація Дмитрука Анатолія Андрійовича «Математичне моделювання процесів сушіння багатокомпонентних капілярно-пористих тіл з урахуванням фазових змін» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання розробки термодинамічно обґрунтованих математичних моделей тепломасопереносу та механодифузії в багатокомпонентних капілярно-пористих тілах під час природного та стимульованого сушіння, розроблення та обґрунтування аналітико-числових методів реалізації таких моделей з урахуванням фазових змін, структурної неоднорідності тіл та режимних параметрів сушильного агента, що дозволяє забезпечити точний опис розподілу температури, вологості та визначити напружено-деформований стан тіла в довільний момент процесу сушіння, що має важливе значення для галузі знань 11 *Математика та статистика*.

11.2. Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

11.3. У 11 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 2 статті у наукових фахових виданнях України; 4 статті у виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз; 5 тез допо-

відей у збірниках матеріалів міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференцій.

11.4. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).

11.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

11.6. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Дмитрука Анатолія Андрійовича, дисертація «Математичне моделювання процесів сушіння багатокомпонентних капілярно-пористих тіл з урахуванням фазових змін» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді з необхідністю внесення змін, відповідно до визначених зауважень та рекомендацій.

За затвердження висновку проголосували:

за	22	Двадцять двоє
проти	-	немає
утримались	-	немає

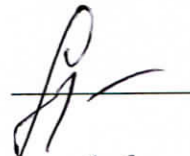
Головуючий на науковому семінарі
кафедри прикладної математики ННІ
прикладної математики та
фундаментальних наук,
проф. кафедри ПМ, д.т.н., професор



Ростислав БУНЬ

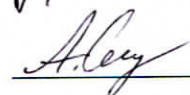
Рецензенти:

професор кафедри ВМ, д.ф.-м.н.,
професор



Роман МУСІЙ

доцент кафедри ПМ, к.ф.-м.н., доцент



Андрій СЕНИК

Відповідальний у ННІ за атестацію PhD
д.т.н., професор кафедри ПМ, проф.



Ростислав БУНЬ

"10" 12 2024 р.