

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Ректор Сумського  
державного університету



В. Д. Карпуша

«13» червня 2024 р.

## **ВИСНОВОК**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації Остроги Руслана Олексійовича на тему «Теоретичні основи процесів формування гранул у неоднорідному середовищі», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології**

Рецензенти д.т.н., с.н.с. Вакал С. В., д.т.н., проф. Ляпощенко О. О. та д.т.н., проф. Гурець Л. Л. розглянувши докторську дисертацію Остроги Руслана Олексійовича та наукові публікації, в яких висвітлені основні наукові результати докторської дисертації, а також за результатами фахового семінару апробаційної ради за спеціальностями 161 Хімічні технології та інженерія та 183 Технології захисту навколишнього середовища (протокол № 2 від 16.05.2024 року), прийняли такий висновок щодо дисертаційної роботи на тему «Теоретичні основи процесів формування гранул у неоднорідному середовищі».

**1. Актуальність теми дослідження.** Виробництво гранульованих продуктів є і залишається актуальним у сучасному світі. Процеси гранулювання широко використовуються при виробництві добрив, фармацевтичних препаратів, харчових добавок та інших технічних матеріалів. У той же час, Україна є аграрною державою. Аграрний сектор її економіки (сільське господарство, харчова й переробна промисловість) забезпечує безпеку країні та продовольчу незалежність як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках. А тому виробництво та раціональне використання добрив є перспективним та надзвичайно актуальним питанням для науки.

Подальший розвиток основних процесів виробництва гранульованих добрив йде по шляху вдосконалення технологічного обладнання для обробки зернистих матеріалів. У хімічній промисловості при отриманні зернистих матеріалів на стадіях термічної обробки та сушіння відбувається нагрівання частинок матеріалу до високих температур. Це, у свою чергу, призводить до зменшення їх міцності та збільшення злежування, а також сприяє злипанню, що спричиняє погіршення якості готової продукції. Тому у більшості випадків матеріал треба охолоджувати задля збереження певних якісних властивостей продукту. При розробці технологічних схем отримання добрив розробники та проєктувальники стикаються з труднощами підбору необхідного обладнання

для операційних відділень виробництва, а саме: для процесів гранулювання (укрупнення) гранул, їх сушіння, охолодження і класифікації.

На даний час отримання гранул базується на трьох основних способах – це: приливання, обкочування та нарощування у псевдозріджених чи зважених шарах. І якщо отримання однорідних гранул у грануляційних баштах та барабанних грануляторах достатньо добре засвоєно промисловістю, то отримання гранульованих продуктів в апаратах з активною гідродинамікою потоків не знаходить належного використання у виробництвах. Останнє обумовлюється недостатнім вивченням науково-теоретичних основ формування гранул у неоднорідних середовищах. Особливо це стосується вивчення закономірностей формування гранул у киплячих та зважених шарах, при отриманні, насамперед, пористих та багатошарових гранул.

У зв'язку із вищезазначеним, тема дисертаційної роботи Остроги Р. О. є актуальною, має важливе наукове та практичне значення, оскільки спрямована на вирішення актуальної науково-прикладної проблеми, пов'язаної із розробленням наукових засад формування гранул у неоднорідному середовищі, що є передумовою для отримання продуктів у гранульованому вигляді для різних галузей промисловості.

**2. Тематика дисертаційної роботи** відповідає пріоритетним напрямам найбільшої програми Європейського Союзу з дослідження та інновацій Horizon Europe за грантовою угодою № 871072 «Monodisperse systems in the production of foodstuff and compound (combined) fertilizers».

Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри хімічної інженерії Сумського державного університету, пов'язаних із тематиками: «Гідродинамічні показники двофазних потоків тепломасообмінного, грануляційного та сепараційного обладнання» (номер державної реєстрації 0115U002551, термін виконання 2015–2019 рр.), «Small-scale energy-saving modules with the use of multifunctional devices with intensive hydrodynamics for the production, modification and encapsulation of granules» (номер державної реєстрації 0119U100834, термін виконання 2019–2021 рр.), «Створення нових гранульованих матеріалів для ядерного палива та каталізаторів в активному гідродинамічному середовищі» (номер державної реєстрації 0120U102036, термін виконання 2020–2022 рр.), «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Сумського державного університету» – етап 3 (номер державної реєстрації 0121U112684, термін виконання 2023 р.).

У дисертаційній роботі використані результати досліджень, проведених під час виконання госпдоговірних науково-дослідних робіт за темами: «Наукове обґрунтування вибору оптимального апаратурного оформлення малогабаритної мобільної установки капсулювання мінеральних добрив» (№ 51.18-01.17.СП), «Напрацювання дослідних зразків гранульованих добрив на органічній основі» (№ 51.18-2022.СП/01), «Напрацювання дослідних зразків

складнозмішаних (комбінованих) добрив спеціального призначення» (№51.18-2023.СП/03), у яких здобувач був керівником.

**3. Особистий внесок Остроги Руслана Олексійовича** полягає в аналізуванні стану проблеми, формуванні та розробленні основної ідеї й теми дисертації, проведенні системного аналізу сучасних напрямів гранулювання та апаратурного оформлення щодо отримання однорідних, пористих та багат шарових гранул, розробці математичних моделей щодо отримання температурного профілю гранули при її охолодженні повітрям у грануляційній башті, сепарації дрібних фракцій із полідисперсної суміші гранульованих добрив щодо формування ретурю певного гранулометричного складу, дослідженні процесу формування гранули у тарілчастому грануляторі, одно- та багатоступеневих апаратах киплячого (зваженого) шару, аналізі режимно-технологічних параметрів на процес формування гранул у грануляційних баштах, тарілчастих грануляторах та у киплячому і зваженому шарах, дослідженні та обґрунтуванні гідродинамічної структури двофазного потоку у грануляторі зваженого шару з перфорованою похилою решіткою, обґрунтуванні важливості процесу охолодження гарячих гранул після стадії грануляції та щодо вибору найбільш раціональної конструкції охолоджувача, розробці методики ексергетичного аналізу щодо раціонального вибору конструкції охолоджувача гранул мінеральних добрив.

**4. Основні положення та результати дисертаційних досліджень.** Основні наукові й практичні результати роботи доповідалися та обговорювалися на таких науково-технічних, науково-практичних конференціях і семінарах всеукраїнського й міжнародного рівнів: науково-технічних конференціях викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 14–17 квітня 2015 р.; 18–21 квітня 2017 р.); I науково-методичній конференції «Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи» (м. Шостка, 28 квітня 2015 р.); IV, VIII Всеукраїнських науково-технічних конференціях «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 19–22 квітня 2016 р.; 20–23 квітня 2021 р.); I Всеукраїнській науково-методичній конференції «Освіта, наука та виробництво: розвиток і перспективи» (м. Шостка, 21 квітня 2016 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво» (м. Шостка, 23–25 листопада 2016 р.); VI Міжнародному молодіжному науковому форумі «Litteris et Artibus» (м. Львів, 24–26 листопада 2016 р.); Міжнародній науковій конференції «Chemical Technology and Engineering» (м. Львів, 26–30 червня 2017 р.); науковому семінарі «Praktyczne Aspekty Inzynierii Chemicznej» (м. Познань, 23 червня 2017 р.); I, III, VI, VII Міжнародних конференціях «Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange» (м. Суми, 12–15 червня 2018 р.; м. Харків, 09–12 червня 2020 р.; м. Високі Татри, 06–09 червня 2023 р.; м. Пльзень, 04–07 червня 2024 р.).

**5. Наукова новизна одержаних результатів.** Розроблено науково-теоретичні основи для визначення температурного профілю у двошаровій гранулі, що дозволяє враховувати складні взаємодії між шарами гранули, теплопередачу, а також фізико-хімічні властивості використовуваних речовин. Вперше теоретично проаналізовано вплив пористої структури оболонки на характер теплопровідності, включаючи комплексний аналіз взаємозв'язку між морфологією пор та ефективністю теплопередачі у шарі матеріалу. Представлено характеристику умов розмежування стадій теплоперенесення в системі «газ – тверда фаза» для псевдозріджених та завислих шарів. Вперше створено науково-теоретичні основи формування гранул в багатоступеневих апаратах зваженого шару, що відкриває нові можливості для оптимізації процесів гранулоутворення у складних гетерогенних системах та сприяє підвищенню ефективності та якості виробництва гранульованих продуктів у різних галузях промисловості. Проведено ексергетичний аналіз для раціонального вибору конструкції охолоджувача гранул мінеральних добрив, що дозволяє систематично оцінити ефективність різних конструкцій охолоджувачів з точки зору енергетичних втрат та ефективності використання енергії. Набули подальшого розвитку науково-теоретичні основи процесу гранулювання, який ускладнений умовами сепарації дрібних частинок, що дає можливість прогнозувати гранулометричний склад кінцевого продукту. Удосконалено методологічну основу теоретичного розрахунку розпаду струменів та теоретичного визначення розміру крапель рідини під впливом власних коливань у струмені рідини (плаву), а також методологічну основу теоретичного аналізу температурного профілю гранул мінеральних добрив уздовж радіуса цієї гранули до її центру, що дозволяє визначати динаміку зміни температури гранули при її конвективному охолодженні у грануляційній башті. Представлено алгоритм розрахунків температурного профілю за допомогою диференційного рівняння Фур'є при граничних умовах 3-го роду шляхом отримання регресійних рівнянь для визначення сталих коефіцієнтів.

#### **6. Практичне значення одержаних результатів полягає у такому:**

Розроблено математичну модель з чисельним алгоритмом та програмним забезпеченням для визначення величини виносу дрібних фракцій із псевдозріджених та завислих шарів, що дає змогу визначати гранулометричний склад ретуру та прогнозувати гранулометричний склад готового продукту. Рівняння для визначення величини виносу дрібної фракції мають емпіричний характер та враховують вплив швидкості газового потоку та швидкості витання твердих частинок. Таким чином, алгоритм розрахунку дозволяє підібрати оптимальний гідродинамічний режим псевдозрідження з метою отримання гранул заданого гранулометричного складу. Розроблено методіку термодинамічного та ексергетичного аналізів раціонального вибору певних типів охолоджувачів гранульованих мінеральних добрив. Запропонований метод враховує як термодинамічні показники – коефіцієнт охолодження, коефіцієнт рекуперації, термодинамічний коефіцієнт корисної дії, так і

ексергетичні – ексергетичний коефіцієнт корисної дії. Такий підхід дозволяє більш коректно оцінити енергетичні витрати на процес охолодження дисперсних матеріалів та підібрати енергозберігаючу конструкцію апарата. Визначено конструктивно-технологічні параметри робочої камери поличного гранулятора зі зваженим шаром, що дозволяє реалізувати активний струменевий гідродинамічний режим зважування. Такий підхід сприяє покращенню ефективності технологічних процесів у промислових умовах і може мати значний вплив на підвищення конкурентоспроможності підприємств, які займаються виробництвом гранульованих продуктів.

Основні результати дисертаційної роботи реалізовано як практичні рекомендації щодо впровадження у виробництво малогабаритної мобільної установки для капсулювання мінеральних добрив на базі Товариства з обмеженою відповідальністю «Альянс» (акт впровадження від 15.11.2017 р.), а також виконані напрацювання дослідних зразків гранульованих добрив на органічній основі для Товариства з обмеженою відповідальністю «Білопілля Агросвіт» (акт впровадження від 01.12.2022 р.) та напрацювання дослідних зразків складнозмішаних (комбінованих) добрив спеціального призначення для Товариства з обмеженою відповідальністю «Аграрник» (акт впровадження від 30.06.2023 р.).

Упроваджено в навчальний процес кафедри хімічної інженерії Сумського державного університету наукові результати відповідно до теми НДР «Створення нових гранульованих матеріалів для ядерного палива та каталізаторів в активному гідродинамічному середовищі», ДР № 0120U102036 (акт впровадження від 26.12.2022 р.); відповідно до теми НДР «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Сумського державного університету», ДР № 0121U112684 (акт впровадження від 28.12.2023 р.).

**7. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 42 наукові праці, із яких: 2 монографії у співавторстві, 3 розділи колективних монографій, 23 статті, зокрема, 5 статей у наукових фахових виданнях із переліку МОН України, 16 статей у зарубіжних наукових періодичних виданнях та у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (Scopus та Web of Science), 14 матеріалів доповідей у збірниках праць конференцій.**

Відзначаємо, що внесок Остроги Руслана Олексійовича в опубліковані у співавторстві праці є визначальним:

1. Юхименко М. П., Острога Р. О., Боцко Й. Конвективне охолодження гранульованих та зернистих матеріалів : монографія. Суми : Університетська книга, 2021. 152 с.

*Здобувач провів аналіз існуючої інформації щодо перспективних конструкцій конвективних охолоджувачів гранульованих мінеральних добрив, виконав аналіз процесу охолодження гранул мінеральних добрив у поличному охолоджувачі, розглянув вплив дисперсійного газового середовища на механізми зважування твердих частинок та їх сепарацію в активних гідродинамічних*

умовах, а також виконав ексергетичний аналіз для раціонального вибору конструкції охолоджувача гранул мінеральних добрив.

2. Artyukhov A., Krmela J., Artyukhova N., Ostroha R. Modeling of the Aerodisperse Systems Hydrodynamics in Devices With Directional Motion of the Fluidized Bed. *Encyclopedia of Information Science and Technology, Fifth Edition* : collective monograph. USA : IGI Global, 2020. P. 1289–1307. (Scopus).

*Здобувач виконав моделювання гідродинамічних параметрів та структури матеріальних потоків неоднорідних систем із використанням програмного забезпечення Ansys CFX.*

3. Острога Р. О. , Юхименко М. П. , Вакал В. С. , Михайловський Я. Е. Капсульовані органо-мінеральні добрива пролонгованої дії. Процес одержання. *Хімічна промисловість України*. Київ : Союз хіміків України, 2015. № 1 (126). С. 40–44.

*Здобувач розробив експериментальний стенд із використанням сучасних засобів автоматизації та отримав результати досліджень щодо оптимізації процесу капсулювання гранул в апараті псевдозрідженого шару.*

4. Yukhymenko M., Ostroha R., Litvinenko A., Piddubnyi Y., Zabitsky D. Research of Operating Mode of Rhombic Gravitational Pneumatic Classifier. *Technology Audit and Production Reserves*. Kharkiv : PC Technology Center, 2019. Vol. 2, № 3 (46). P. 4–6.

*Здобувач дослідив вплив конструктивних та режимно-технологічних параметрів на процес отримання укрупнених гранул карбаміду в тарілчастому грануляторі, а також провів оптимізацію процесу диспергування плаву на шар відносно площини тарілки.*

5. Al-Khyatt M. Nadhem, Skydanenko M., Ostroha R., Neshta A., Yukhymenko M., Yakhnenko S., Zabitsky D., Yesypchuk S., Moskalchuk O. Research of Plate Granulator Operation Modes in the Production of Coarse Carbamide Granules. *Technology Audit and Production Reserves*. Kharkiv : PC Technology Center, 2022. Vol. 1, № 3 (63). P. 6–9.

*Здобувачеві належить інформація щодо результатів дослідження процесу розділення полідисперсної суміші гранул на окремі фракції.*

6. Михайловський Я. Е., Юхименко М. П., Острога Р. О. Охолоджувальна кристалізація персульфату амонію в кристалізаторі з псевдозрідженим шаром. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. Черкаси, 2023. № 2. С. 111–118.

*Здобувач провів дослідження та виявив основні фактори, що впливають на процес кристалізації персульфату амонію у псевдозрідженому шарі, розробив методіку розрахунку охолоджувального класифікуючого кристалізатора.*

7. Al-Khyatt M. Nadhem, Sklabinsky V., Ostroha R., Skydanenko M., Yukhymenko M., Bocko J., Ostroha D., Zabitsky D., Moskalchuk O., Serhienko A. Study of temperature changes in mineral fertilizer granules after contact with air in a granulation tower. *Technology Audit and Production Reserves*. Kharkiv : PC Technology Center, 2023. Vol. 4, № 3 (72). P. 6–9.

Здобувач отримав розрахункові рівняння для визначення температури повітря, яке контактує з поверхнею гранули при її падінні у грануляційній башті та температурного профілю всередині гранули.

8. Yukhymenko M., Ostroha R., Artyukhov A. Hydrodynamic and Kinetic Processes of the Mineral Fertilizer Granules Encapsulating in the Multistage Device With Suspended Layer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*, 2016. № 6/6 (84). P. 22–28. **(Scopus, Q3)**.

Здобувач дослідив конструкції поличних пристроїв та встановив їх вплив на процеси укрупнення і унесення гранул, а також розробив математичну модель кінетики гранулювання в поличному багатоступеневому апараті, яка враховує зміну щільності розподілу гранул за розмірами на кожному ступені гранулювання.

9. Ostroha R., Yukhymenko M., Yakushko S., Artyukhov A. Investigation of the Kinetic Laws Affecting the Organic Suspension Granulation in the Fluidized Bed. *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*, 2017. № 4/1 (88). P. 4–10. **(Scopus, Q3)**.

Здобувач експериментально визначив температурні режими процесу гранулювання курячого посліду, встановив робочий температурний режим, розробив апаратне оформлення лінії виробництва гранульованих органічних добрив.

10. Ostroha R., Yukhymenko M., Lytvynenko A., Bocko J., Pavlenko I. Granulation Process of the Organic Suspension: Fluidized Bed Temperature Influence on the Kinetics of the Granule Formation. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2019. Part F2. P. 463–471. **(Scopus, WoS, Q3)**.

Здобувачеві належать результати експериментальних досліджень впливу температурного режиму на формування певної структури гранули, отримано аналітичні залежності для визначення часу та температури прогрівання гранул, які дозволяють прогнозувати енергетичні та економічні показники виробництва добрив та оптимізувати процес.

11. Lytvynenko A., Yukhymenko M., Pavlenko I., Pitel J., Mizakova J., Lytvynenko O., Ostroha R., Bocko J. Ensuring the Reliability of Pneumatic Classification Process for Granular Material in a Rhomb-Shaped Apparatus. *Applied Sciences*, 2019. 9 (8). 1604. **(Scopus, WoS, Q1)**.

Здобувач провів аналіз існуючої інформації щодо моделей процесу пневматичної класифікації сипких полідисперсних сумішей, підготував програмне забезпечення чисельних розрахунків для реалізації процедури регресії та проаналізував отримані результати.

12. Yukhymenko M., Ostroha R., Lytvynenko A., Mikhajlovskiy Y., Bocko J. Cooling Process Intensification for Granular Mineral Fertilizers in a Multistage Fluidized Bed Device. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2020. 2. P. 249–257. **(Scopus, WoS, Q4)**.

Здобувач виконав аналіз експериментальних досліджень впливу конструктивних параметрів поличних контактних елементів на процес охолодження гранул мінеральних добрив у поличному охолоджувачі.

13. Yukhymenko M., Artyukhov A., Ostroha R., Artyukhova N., Krmela J., Bocko J. Multistage Shelf Devices with Fluidized Bed for Heat-Mass Transfer Processes: Experimental Studies and Practical Implementation. *Applied Sciences*, 2021. 11 (3). 1159. **(Scopus, WoS, Q2)**.

Здобувач проаналізував результати експериментальних досліджень щодо гідродинаміки руху двофазного потоку в поличному апараті зваженого шару та надав практичні рекомендації.

14. Ostroha R., Yuhymenko M., Bocko J., Artyukhov A., Krmela J. Determining the Main Regularities in the Process of Mineral Fertilizer Granule Encapsulation in the Fluidized Bed Apparatus. *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*, 2021. № 4/6 (112). P. 23–32. **(Scopus, Q2)**.

Здобувач розробив математичну модель дорощування (капсулювання) гранул, аналітичним способом отримав графічні залежності, які показали зростання товщини твердої оболонки від збільшення питомої витрати суспензії, діаметра частинок ретуру та часу процесу капсулювання.

15. Sklabinskyi V., Liaposhchenko O., Pitel J., Pavlenko I., Skydanenko M., Ostroha R., Yuhymenko M., Simeiko K., Demianenko M., Volf M., Starynskyi O., Yurchenko O., Mandryka O. Experimental Studies and Condition Monitoring of Auxiliary Processes in the Production of  $Al_2O_3$  by Sol–Gel Technology. *Processes*, 2022. 10. 2090. **(Scopus, WoS, Q2)**.

Здобувач розробив методологію формування гранул та провів аналіз отриманих результатів.

16. Yuhymenko M., Ostroha R., Bocko J. Design of a Shelf Pneumatic Classifier for Separating a Polydisperse Mixture of Granulated Superphosphate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*, 2022. № 6/1 (120). P. 33–42. **(Scopus, Q3)**.

Здобувач розробив математичну модель сепарації дрібних фракцій з полідисперсної суміші гранульованих добрив, шляхом обробки експериментальних даних отримав емпіричне рівняння, яке дозволяє визначити концентрацію частинок у газовому потоці окремих фракцій матеріалу.

17. Yurchenko O., Ostroha R., Sklabinskyi V., Gusak O., Bocko J. Formation of Liquid Droplets at the Prilling Bucket Outlet Under Free Oscillations of the Liquid Jet. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2023. 2. P. 177–185. **(Scopus, WoS, Q4)**.

Здобувач провів аналіз теоретичних досліджень щодо використання обертових вібраційних грануляторів, отримав рівняння руху рідини у стаціонарному режимі в циліндричній системі координат, які лежать в основі теоретичного опису руху рідини у струмені.

18. Sklabinskyi V., Pitel J., Skydanenko M., Simeiko K., Liaposhchenko O., Pavlenko I., Ostroha R., Yuhymenko M., Mandryka O., Storozhenko V. Pyrocarbon Coating on Granular  $Al_2O_3$  for HTGR-Type Power Reactor. *Coatings*, 2023. 13. 1462. **(Scopus, WoS, Q2)**.

Здобувач проаналізував та обтунтував отримані експериментальні дані щодо формування полікарбонного покриття на гранулах оксиду алюмінію.



19. Капсулювання гранул мінеральних добрив органічною речовиною / Є. М. Однодворець, Р. О. Острога. *Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи : матеріали I науково-методичної конференції*, м. Шостка, 28 квітня 2015 р. Суми : СумДУ, 2015. С. 54.

20. Застосування добрив на органічній основі для вирощування екологічно чистих продуктів / А. О. Ільченко, Р. О. Острога. *Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студ. фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій*, м. Суми, 14–17 квітня 2015 р. Суми : СумДУ, 2015. Ч. 2. С. 125.

21. Кінетика гранулювання органічних суспензій / С. П. Шевець, Р. О. Острога. *Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма IV Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції*, м. Суми, 19–22 квітня 2016 р. Суми : СумДУ, 2016. Ч. 2. С. 88.

22. Енергозберігаючі та екологічно безпечні технології виробництва гранульованих мінеральних добрив пролонгованої дії / О. А. Темідайю, Р. О. Острога. *Освіта, наука та виробництво: розвиток і перспективи : I Всеукраїнська науково-методична конференція*, м. Шостка, 21 квітня 2016 р. Суми : СумДУ, 2016. С. 128.

23. The Mineral Fertilizer Granules Encapsulating in a Multistage Shelf Apparatus / С. П. Шевець, Р. О. Острога. *Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво : III Міжнародна науково-практична конференція*, м. Шостка, 23–25 листопада 2016 р. Суми : СумДУ, 2016. С. 77.

24. Drying and Granulation of Organic Substances in the Apparatus with Active Flow Hydrodynamics / С. П. Шевець, Р. О. Острога. *Chemistry and Chemical Technology : VI International Youth Science Forum "Litteris et Artibus"*, Lviv, November 24–26, 2016. Lviv : Lviv Polytechnic Publishing House, 2016. P. 414–415.

25. Investigation of Mechanics of the Solid Phase Motion in the Gas Flow of the Fluid Bed Apparatus / Н. Р. Артюхова, Р. О. Острога. *Chemical Technology and Engineering : International Scientific Conference*, Lviv, June 26–30, 2017. Lviv : Lviv Polytechnic Publishing House, 2017. P. 351–352.

26. Кінетика гранулювання органічних суспензій в апаратах з активною гідродинамікою потоків / С. П. Шевець, Р. О. Острога. *Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студ. фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій*, м. Суми, 18–21 квітня 2017 р. Суми : СумДУ, 2017. Ч. 2. С. 103.

27. Апаратурне оформлення процесу капсулювання гранульованих мінеральних добрив / Н. Р. Артюхова, Р. О. Острога. *Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студ. фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій*, м. Суми, 18–21 квітня 2017 р. Суми : СумДУ, 2017. Ч. 2. С. 104.

28. Development and Engineering Foundation of the Encapsulated Organic-Mineral Fertilizers / Н. Р. Артюхова, Р. О. Острога. *Praktyczne Aspekty Inżynierii Chemicznej : Seminarium*, Poznan, June 23, 2017. Poznan : Politechnika Poznanska, 2017. P. 121–123.

29. Final Drying of the Porous Ammonium Nitrate in the Shelf Dryers: Impact of the Granules Flow Constraint Degree on the Nanoporous Structure Quality / N. Artyukhova, R. Ostroha, M. Yukhymenko, J. Krmela, V. Krmelova. *Proceedings of the 2019 IEEE 9th International Conference on Nanomaterials : Applications and Properties, NAP 2019*. 9075665. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://nap.sumdu.edu.ua/index.php/nap/nap2019/paper/view/2914> (Scopus).

30. Моделювання процесів при гранулоутворенні за золь-гельною технологією / О. О. Ляпощенко, І. В. Павленко, М. С. Скиданенко, М. М. Дем'яненко, М. П. Юхименко, Р. О. Острога, М. П. Кононенко, В. М. Покотило. *Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції*, м. Суми, 20–23 квітня 2021 р. Суми : СумДУ, 2021. С. 209.

31. Вплив технологічних параметрів процесу на характеристики продукту, отриманого за золь-гельною технологією / О. О. Ляпощенко, І. В. Павленко, М. С. Скиданенко, М. М. Дем'яненко, М. П. Юхименко, Р. О. Острога, С. М. Яхненко, М. П. Кононенко. *Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції*, м. Суми, 20–23 квітня 2021 р. Суми : СумДУ, 2021. С. 218.

32. Theoretical Regularities of Nitrogen Fertilizer Granulation Process in Plate Granulator / Nadhem M. Al-Khyatt, M. Skydanenko, S. Yesypchuk, O. Moskalchuk. *Innovations and prospects of world science : VI International scientific and practical conference*, Vancouver (Canada), February 2–4, 2022. Vancouver : Perfect Publishing, 2022. P. 165–167.

33. Якушко С. І., Острога Р. О., Боцко Й. Біодобрива та біопаливо. Переваги внутрішньогосподарської утилізації сільськогосподарських відходів : монографія. Суми : Видавництво «Ярославна», 2018. 265 с.

*Здобувач провів аналіз економічної доцільності виробництва натуральних добрив для вирощування екологічно безпечної сільськогосподарської продукції, палива та енергоносіїв для власного господарства, розглянув технології виробництва гранульованих органічних та органо-мінеральних добрив, а також виявив переваги внутрішньогосподарської утилізації сільськогосподарських відходів.*

34. Artyukhov A., Artyukhova N., Ostroha R., Yukhymenko M., Krmela J., Bocko J. Convective Drying in the Multistage Shelf Dryers: Theoretical Bases and Practical Implementation. *Current Drying Processes : collective monograph*. United Kingdom : IntechOpen, 2020. P. 41–61.

*Здобувач обґрунтував особливості гідродинамічної структури двофазного потоку в поличному апараті зваженого шару та надав практичні рекомендації.*

35. Ostroha R., Yukhymenko M., Bocko J. Technology of Obtaining Organic Granular Fertilizers: Study of Dehydration Process in Fluidized Bed : monograph. Latvia, Riga : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. 52 p.

*Здобувачеві належать результати експериментальних та теоретичних досліджень щодо процесів формування гранул в апараті псевдозрідженого шару та багатоступеневому апараті зваженого шару.*

36. Ostroha R., Yukhymenko M., Mikhajlovskiy Y., Litvinenko A. Technology of Producing Granular Fertilizers on the Organic Basis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*, 2016. № 1/6 (79). P. 19–26. **(Scopus, Q3)**.

*Здобувач запропонував технологію отримання гранульованих добрив на органічній основі та розробив схему промислової лінії для їх виробництва.*

37. Ostroha R., Yukhymenko M., Lytvynenko O., Lytvynenko A. Production of Encapsulated Organo-Mineral Fertilizers in a Fluidized Bed Granulator. *Acta Mechanica Slovaca*, 2020. 24 (2). P. 50–55.

*Здобувач запропонував технологію отримання капсульованих добрив пролонгованої дії та отримав аналітичну залежність для визначення середньозваженого діаметра частинок протягом процесу капсулювання.*

38. Yukhymenko M., Ostroha R., Artyukhov A., Bocko J. Effect of Temperature on Formation of Nanoporous Structure of Granule Shell in Technology of Obtaining Organo-Mineral Fertilizers. *Springer Proceedings in Physics*, 2020. 247. P. 159–169. **(Scopus)**.

*Здобувач розробив алгоритм розрахунків температурного профілю за допомогою диференційного рівняння Фур'є при граничних умовах 3-го роду шляхом отримання регресійних рівнянь для визначення сталих коефіцієнтів.*

39. Lytvynenko A., Pavlenko I., Yukhymenko M., Ostroha R., Pitel J. Hydrodynamics of Two-Phase Upflow in a Pneumatic Classifier with the Variable Cross-Section. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2020. 2. P. 216–227. **(Scopus, WoS, Q4)**.

*Здобувач проаналізував конструктивні особливості пневматичних класифікаторів для розділення сипких полідисперсних сумішей на фракції.*

40. Yukhymenko M., Ostroha R., Evtuhov A. Pneumatic Classification of Granular Materials in Rhomb-Shaped Apparatus. *Acta Mechanica Slovaca*, 2021. 25 (3). P. 46–51.

*Здобувач обґрунтував механізм процесу розділення сипких полідисперсних сумішей на фракції у гравітаційному класифікаторі.*

41. Yurchenko O., Sklabinskyi V., Ochowiak M., Ostroha R., Gusak O. Rational Choice of a Basket for the Rotational Vibropriller. *Journal of Engineering Sciences*, 2022. Vol. 9 (1). P. F16–F20.

*Здобувач визначив вплив режимно-технологічних та конструктивних параметрів обертового вібраційного гранулятора на процес гранулоутворення у грануляційних баштах.*

42. Ostroha R., Yukhymenko M., Mandryka O. Hydraulic Regularities of Fluidized Bed During Encapsulation of Organo-Mineral Fertilizers. *Acta Mechanica Slovaca*, 2023. 27 (2). P. 12–17.

*Здобувач обґрунтував важливість гідравлічних характеристик киплячого шару та дослідив їх вплив на енергетичні витрати процесу гранулювання.*

**8. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології за такими пунктами:**

1. Теоретичні та експериментальні дослідження гідромеханічних процесів: ... псевдозрідження, коагуляції й гранулювання дисперсних систем; ... встановлення параметрів, необхідних для вибору або створення нового обладнання (... апаратів псевдозрідженого шару, грануляторів і коагуляторів, спеціальних роздільних апаратів, зокрема пінних тощо).

2. Теоретичні й експериментальні дослідження теплових і масообмінних процесів теплообміну в газових і рідких системах; ... теплообміну при фазових перетвореннях (зокрема під час барботування й псевдозріджування), при високих швидкостях, за наявності внутрішніх джерел теплоти; теплового випромінювання; масообміну в газових і рідких системах, системах з твердою фазою; ... загальні основи розрахунку тепло- й масообмінного обладнання.

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

#### **УХВАЛИЛИ:**

1. Дисертаційна робота Остроги Р. О. на тему «Теоретичні основи процесів формування гранул у неоднорідному середовищі» є завершеною науковою працею, яка містить нові науково-обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати щодо розроблення та обґрунтування процесів формування гранул у неоднорідному середовищі шляхом застосування методів обкочування та прильовання, а також у псевдозріджених та завислих шарах з активною гідродинамікою потоків, а також робота характеризується єдністю змісту, відповідає принципам академічної доброчесності і свідчить про особистий внесок здобувача в науку.

2. У 42 наукових працях автора в повній мірі висвітлено зміст дисертації Остроги Р. О., з них 2 монографії у співавторстві, 3 розділи колективних монографій, 23 статті, зокрема, 5 статей у наукових фахових виданнях із переліку МОН України, 16 статей у зарубіжних наукових періодичних виданнях та у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (Scopus та Web of Science), 14 матеріалів доповідей у збірниках праць конференцій.

3. Дисертація Остроги Руслана Олексійовича на тему «Теоретичні основи процесів формування гранул у неоднорідному середовищі» відповідає вимогам пп. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 р.

4. З урахуванням значення виконаної роботи та актуальності проведених досліджень дисертаційна робота Остроги Руслана Олексійовича на тему «Теоретичні основи процесів формування гранул у неоднорідному середовищі»

рекомендується до представлення на розгляд у спеціалізовану вчену раду Д 55.051.04 на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

**Рецензенти:**

Директор НДІ «МІНДІП»  
Сумського державного університету  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник



Сергій ВАКАЛ

Професор кафедри хімічної інженерії  
Сумського державного університету  
доктор технічних наук, професор



Олександр ЛЯПОЩЕНКО

Професор кафедри екології та  
природозахисних технологій  
Сумського державного університету  
доктор технічних наук, професор



Лариса ГУРЕЦЬ