e-ISSN 2708-9754; ISSN 2307-1699
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ, 2026, Вип. 52
AGRICULTURAL MACHINES, 2026, Vol. 52

JUSTIFICATION OF THE OPTIMAL DESIGN OF ROTOR ASSEMBLIES BASED ON THE PERFORMANCE METRICS OF SPREADERS

N. Ponomarenko, D. Chasov*, D. Sereda, V. Beihul, M. Linnyk-Zakhorolskyi
Dniprovsk State Technical University, Kamianske, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES
АСМ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Key words:
mineral fertilizers,
spreading disc,
rotary distribution mechanism,
guide ribs,
blade geometry,
coefficient of variation,
spreading width.

Article history:
Received 11.10.2026
Reviewed 19.10.2026
Approved 30.10.2026

*__Corresponding author:__
0969995009@ukr.net

ABSTRACT

Research was conducted on the influence of the design parameters of a centrifugal-type rotary distribution mechanism on the spatial distribution characteristics of mineral fertilizers. Design differences among five experimental configurations of the spreading disc were examined, characterized by varying arrangements of guide ribs, blade geometry, and the method of their mounting relative to the disc surface. Experimental studies were conducted on a laboratory setup using sand and urea as model materials and granular mineral fertilizer, respectively. Efficiency of the design solutions was evaluated based on the coefficient of variation in material distribution and the width of its dispersion. The test results showed that experimental configuration №4 provided the lowest coefficient of variation: 26% for sand distribution and 10% for urea distribution. The corresponding spreading widths were 0.9 and 2.5 m. Compared to the standard configuration №5, the coefficient of variation for urea decreased from 89% to 10%, while the spreading width increased from 2.3 to 2.5 m. The observed effect is related to the structural design of the guide ribs, which determines how the material moves across the disc's surface and the conditions under which it leaves the blades. The results justify the feasibility of further improving spreading disc № 4 using analytical modeling of trajectories.

DOI: 10.36910/acm.vi52.2357

To cite this article:
Ponomarenko, N., Chasov, D., Sereda, D., Beihul, V. & Linnyk-Zakhorolskyi, M. (2026). Justification of the optimal design of rotor assemblies based on the performance metrics of spreaders. *Agricultural Machines*, *52*, 241–248. https://doi.org/10.36910/acm.vi52.2357

e-ISSN 2708-9754; ISSN 2307-1699
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ, 2026, Вип. 52
AGRICULTURAL MACHINES, 2026, Vol. 52

УДК 631.333

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ РОТОРНИХ ВУЗЛІВ ЗА ЯКІСНИМИ ПОКАЗНИКАМИ РОБОТИ РОЗКИДАЧІВ

Н.О. Пономаренко, Д.П. Часов*, Д.Б.Середа, В.О. Бейгул, М.С. Лінник-Захорольський
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна

AGRICULTURAL MACHINES
АСМ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Ключові слова:
мінеральні добрива,
розкидальний диск,
роторний розподільний механізм,
напрямні ребра,
геометрія лопатей,
коефіцієнт варіації,
ширина розсіювання.

Історія публікації:
Отримано 11.10.2026
Прорецензовано 19.10.2026
Затверджено до друку 30.10.2026

****Автор для листування:***
0969995009@ukr.net

АНОТАЦІЯ

Досліджено вплив конструктивних параметрів роторного розподільного механізму відцентрового типу на показники просторового розподілу мінеральних добрив. Розглянуто конструктивні відмінності п'яти дослідних конфігурацій розкидального диска, які характеризуються різним розташуванням напрямних ребер, геометрією лопатей і способом їх установлення відносно поверхні диска. Експериментальні дослідження виконано на лабораторній установці з використанням піску та карбаміду як модельного матеріалу й гранульованого мінерального добрива відповідно. Ефективність конструктивних рішень оцінювали за коефіцієнтом варіації розподілу матеріалу та шириною його розсіювання. За результатами випробувань установлено, що дослідна конфігурація № 4 забезпечує найменший коефіцієнт варіації: 26 % під час розподілу піску та 10 % під час розподілу карбаміду. Відповідна ширина розсіювання становила 0,9 і 2,5 м. Порівняно із серійною конфігурацією № 5 коефіцієнт варіації для карбаміду зменшився з 89 до 10 %, а ширина розсіювання збільшилася з 2,3 до 2,5 м. Виявлений ефект пов'язаний із конструктивною організацією напрямних ребер, що визначає характер переміщення матеріалу по поверхні диска та умови його сходження з лопатей. Результати обґрунтовують доцільність подальшого вдосконалення розкидального диска № 4 із використанням аналітичного моделювання траєкторій гранул та оптимізації геометрії напрямних елементів.

DOI: 10.36910/acm.vi52.2357

Цитувати цю статтю:
Пономаренко, Н. О., Часов, Д. П., Середа, Д. Б., Бейгул, В. О. & Лінник-Захорольський, М. С. (2026). Обґрунтування оптимальної конструкції роторних вузлів за якісними показниками роботи розкидачів. *Сільськогосподарські машини*, *52*, 241–248. https://doi.org/10.36910/acm.vi52.2357

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Відцентрові розкидачі мінеральних добрив належать до найбільш поширених засобів механізації технологічних операцій із внесення гранульованих агрохімікатів. Їх використання забезпечує високу продуктивність, конструктивну відносну простоту та можливість регулювання норми внесення в широкому діапазоні. Водночас ефективність таких машин визначається не лише дозувальними характеристиками, а й здатністю формувати заданий просторовий розподіл матеріалу за шириною захвату. Відхилення фактичного розподілу від рівномірного спричиняє локальне перевищення або зменшення норми внесення, що погіршує умови живлення рослин і знижує ефективність використання мінеральних добрив. Функціонування відцентрового розподільного механізму ґрунтується на передаванні гранулам кінетичної енергії від обертового диска та встановлених на ньому лопатей. Після надходження з дозувального пристрою гранули переміщуються по поверхні диска, взаємодіють із напрямними елементами та набувають швидкості, достатньої для подальшого вильоту в навколишнє середовище. Траєкторія їхнього руху визначається сукупністю геометричних, кінематичних і фізико-механічних чинників. До основних належать діаметр диска, частота його обертання, положення точки подачі матеріалу, кількість і довжина лопатей, кут їх установлення, параметри напрямних ребер, а також гранулометричний склад, густина, форма та фрикційні характеристики добрива (*Ponomarenko N.O., та ін., 2024*)

Дослідження кінематики гранул на обертовому диску підтверджують, що параметри конструкції та режиму роботи взаємопов’язані й не можуть розглядатися ізольовано. Зокрема, експериментальні дослідження дискових розкидачів засвідчили залежність дальності переміщення добрив від типу матеріалу, конфігурації лопатей і кутової швидкості диска (*Przywara A., та ін., 2020*). Це означає, що зміна геометрії розподільного механізму може впливати одночасно на дальність розсіювання, форму розподільного профілю та рівномірність розміщення гранул. Важливим показником якості роботи відцентрового розкидача є коефіцієнт варіації розподілу матеріалу. Його використання дає змогу кількісно оцінювати розсіювання експериментальних значень відносно середнього рівня та порівнювати різні конструктивні й технологічні конфігурації.

Водночас інтерпретація цього показника потребує врахування методики випробувань, площі збирання матеріалу, кількості повторень і способу визначення ширини розсіювання. Відповідні питання розглянуто у дослідженні гібридної моделі відцентрового розподілу, в якому показано вплив умов вимірювання та параметрів моделі на оцінювання коефіцієнта варіації (*Villette S., та ін., 2017)*. Окремий напрям досліджень становить удосконалення геометрії лопатей і напрямних елементів розкидального диска. Конструктивне виконання цих деталей визначає характер контакту гранул із поверхнею, інтенсивність їхнього прискорення та напрямок сходження з диска.

Застосування напрямних ребер дає змогу змінювати траєкторію руху матеріалу до моменту його вильоту, проте результативність такого рішення залежить від розташування ребер, їхньої висоти, кута нахилу та взаємного положення з основними лопатями. Надмірне ускладнення геометрії не обов’язково забезпечує поліпшення розподілу, оскільки додаткові елементи можуть змінювати характер руху гранул і створювати локальні зони їх накопичення. У роботі F. Kömekçi та співавторів досліджено вплив кількості лопатей, кута їх установлення та колової швидкості диска на рівномірність поперечного й поздовжнього розподілу гранульованих добрив. За результатами повнофакторного експерименту встановлено статистичну значущість досліджуваних параметрів для показників розподілу. За однієї з оптимальних комбінацій параметрів коефіцієнт варіації поперечного розподілу становив 8,31 % (*Kömekçi F., та ін., 2024*). Отримані результати підтверджують необхідність комплексного вибору геометрії лопатей і кінематичного режиму, а не оцінювання конструкції лише за шириною розсіювання.

Значення фізико-механічних характеристик матеріалу підтверджено також дослідженнями A. Przywara та співавторів. Установлено, що тип добрива, конфігурація лопатей і кутова швидкість диска істотно впливають на середній радіус розподілу. Автори також виявили суттєвий вплив пилоподібної фракції на дальність розсіювання (*Yıldırım Y., та ін., 2012*). Отже, порівняння конструктивних рішень має здійснюватися за однакових умов випробування, оскільки відмінності фізичних властивостей матеріалу можуть змінювати результати навіть за незмінної геометрії диска. Сучасні дослідження продовжують розвивати напрям конструктивної оптимізації розподільних механізмів. Зокрема, у

роботі 2025 року застосовано дискретно-елементне моделювання та експериментальну перевірку для визначення впливу конструктивних параметрів двохдискового розкидача на рівномірність внесення (*Ou, M., та ін., 2025*). Такий підхід демонструє перспективність поєднання теоретичного аналізу, числового моделювання та експериментальної оцінки під час розроблення нових конструкцій. Попри значну кількість досліджень, вибір конструктивної схеми розкидального диска для забезпечення одночасно високої рівномірності розподілу та достатньої ширини розсіювання залишається актуальним завданням. Особливої уваги потребує оцінювання напрямних ребер, розташованих у секторах між основними лопатями, а також конструкцій, у яких напрямні елементи підняті над поверхнею диска. Для таких схем важливо визначити, наскільки зміна організації руху гранул впливає на показники розсіювання різних за фізичними властивостями матеріалів.

Мета дослідження — експериментально оцінити вплив конструктивних особливостей роторного розподільного механізму відцентрового типу на рівномірність і ширину розсіювання мінеральних добрив, визначити найбільш результативну з досліджених конфігурацій розкидального диска та обґрунтувати напрями її подальшого конструктивного вдосконалення.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

За даними наукових публікацій, структура факторів, що визначають урожайність сільгоспкультур, виглядає так: 50% припадає на удобрення, 20% – на механічний обробіток землі, 10% залежить від обраного сорту, і ще 20% забезпечують заходи захисту рослин.

Вітчизняний машинобудівний сектор пропонує аграріям агрегати для внесення міндобрив: НРУ-1200 (місткість 1,2 м³), МВД-0,5 (0,5 м³), а також МД-4 та МВД-5СПРО. Однак технічні можливості цих машин поступаються аналогам відомих західних виробників (Accord, Amazone, Diadem, Sulky та ін.). Західна техніка гарантує кращу рівномірність та вищу продуктивність, але її вартість є значно більшою порівняно з вітчизняними зразками.

Наразі відцентрові розкидачі міндобрив не можуть похвалитися рівномірним розподілом гранул по площі. Щоб покращити цей показник, фахівці спроектували та виготовили чотири дослідні роторні робочі елементи діаметром 120 мм, а також створили еталонний горизонтальний диск із чотирма лопатями (висота лопаті – 0,2 від радіуса диска). Досліди проводились на експериментальній установці ДДАУ у навчально-виробничій лабораторії (рис. 1).



Рис. 1 - Експериментально-дослідна установка (фото авторів, 2026)

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Експериментальні дослідження виконували для порівняльного оцінювання впливу конструктивного виконання роторних вузлів відцентрового розкидача на показники поперечного

розподілу сипких матеріалів і ширину їх розсіювання. Дослідження були проведені на різних конструкціях робочих дисків і робочим матеріалом був пісок та гранульовані мінеральні добрива (розмір гранул 1 мм). Досліджували п'ять конструктивних варіантів: чотири експериментальні зразки з різним виконанням напрямних ребер (рис. 2.) і серійний горизонтальний диск із чотирма радіально розташованими прямокутними лопатями, прийнятий за базовий для порівняння.

У зразку № 1 на диску симетрично відносно осі обертання розміщено основні ребра, а в утворених ними секторах установлено додаткові напрямні елементи. Кути нахилу ребер становлять 15°, 14° і 12°, а їхня висота, відповідно, дорівнює 0,12; 0,10 і 0,08 радіуса диска в напрямку від осі обертання до периферії. Така геометрія забезпечує поетапну зміну умов переміщення частинок уздовж радіуса та формує передумови для коригування траєкторії їхнього сходження з поверхні диска.

У зразку № 2 застосовано аналогічну схему розміщення ребер, доповнену міжреберними прорізами. Вирізи виконано в чотирьох ділянках уздовж радіуса кожного ребра з їх взаємним перекриттям. Зазначене конструктивне рішення змінює характер контакту частинок із напрямними поверхнями та умови їх переміщення між секторами диска. Параметри нахилу й висоти ребер відповідають першому варіанту. Їх вибір спрямований на забезпечення необхідної дальності розсіювання та зменшення нерівномірності розподілу матеріалу по поверхні ґрунту (*Патент на корисну модель № 09385)*.

У зразку № 3 напрямні ребра розташовано над робочою поверхнею диска з нахилом, аналогічним до прийнятого для зразка № 1. Кожне ребро закріплено в двох точках, що забезпечує його підняте положення відносно площини диска. Відмінність цього варіанта полягає у просторовому розташуванні напрямних елементів, яке змінює умови взаємодії частинок із диском і ребрами під час обертання. Така конструкція дає змогу оцінити вплив винесення напрямних поверхонь над площиною диска на показники розсіювання матеріалу (*Патент на корисну модель № 56441*).

У зразку № 4 використано диск із симетрично розташованими ребрами та напрямними елементами, установленими в утворених ними секторах. Кут нахилу напрямних ребер становить 12°, а їхня висота — 0,08 радіуса диска. Початок і кінець кожного напрямного елемента розташовано в точках зовнішнього радіуса основних лопатей. Така схема формує визначену траєкторію переміщення частинок у напрямку периферії диска та дає змогу оцінити ефективність конструкції з урахуванням поєднання напрямних ребер з основними лопатями (*Гаврилюк В.П., 2012*).

Зразок № 5 являв собою серійний горизонтальний диск із чотирма радіальними прямокутними лопатями та використовувався як базовий варіант.

Порівняльні випробування проводили за розробленою методикою (*Поляков В. В., 2015; Коваленко В. Г., Литвиненко П. С., 2020*) із десятикратною повторюваністю кожного досліду. Геометричні розміри експериментальних зразків були в п'ять разів меншими за розміри серійного роторного вузла. Для оцінювання результатів застосовували коефіцієнти подібності, які враховували під час перерахунку характеристик розподілу матеріалу та визначення ширини розсіювання.

Основними критеріями порівняння були коефіцієнт варіації розподілу, похибка експерименту та робоча ширина захвату. Менше значення коефіцієнта варіації свідчить про вищу рівномірність розподілу матеріалу в межах досліджуваної зони. За результатами випробувань із використанням піску коефіцієнт варіації для зразків № 1 і № 2 становив по 43 %, для зразка № 3 — 35 %, для зразка № 4 — 26 %, тоді як для серійного диска № 5 досягав 95 %. Отже, найменше значення цього показника отримано для конструкції № 4 (табл. 1).

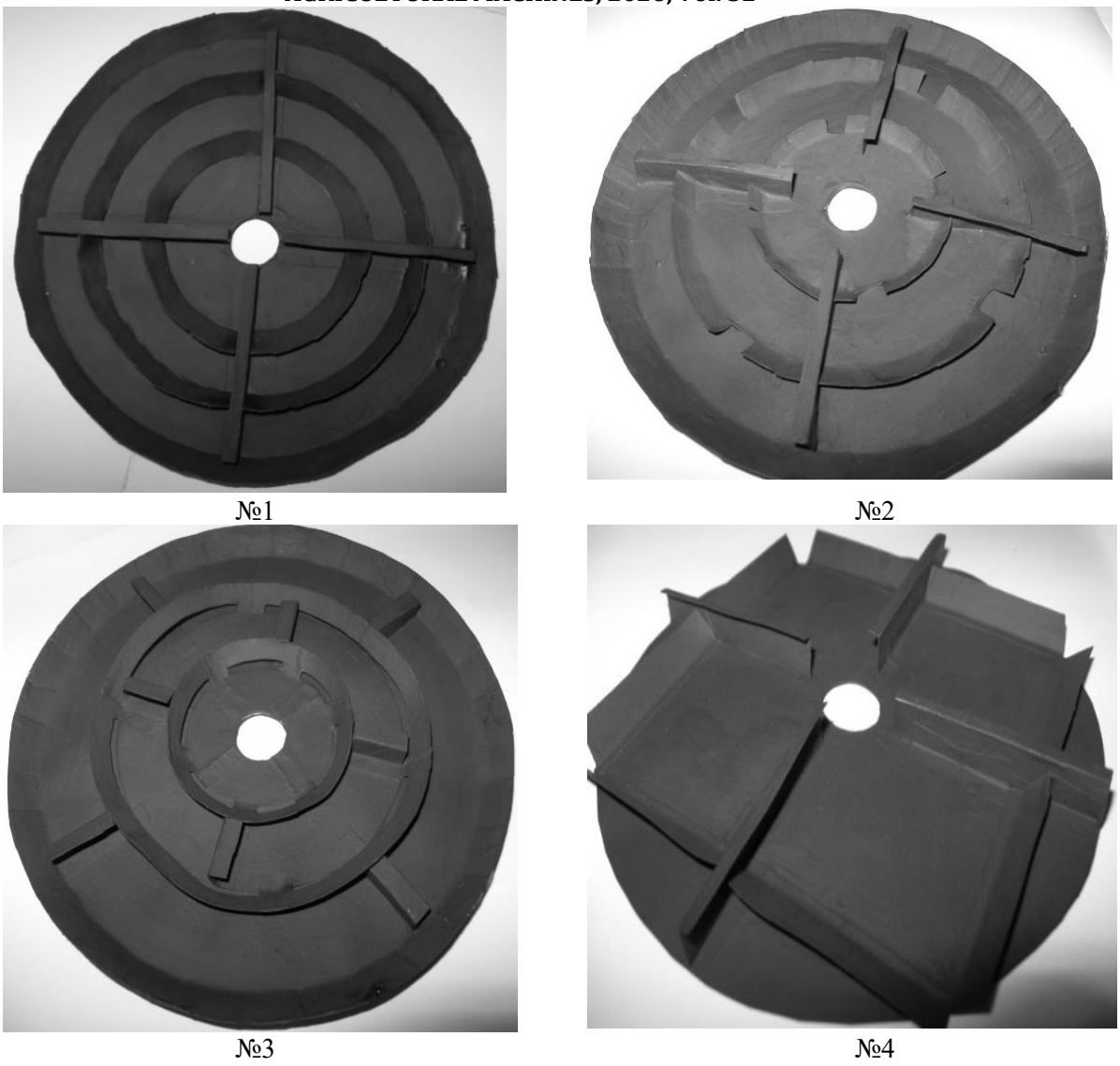


Рис. 2. - Експериментальні конструкції робочих дисків (фото авторів, 2026)

Порівняно із серійним варіантом коефіцієнт варіації зменшився на 69 відсоткових пунктів, що характеризує істотне поліпшення рівномірності розподілу піску за умов проведеного експерименту. Для зразків № 1–3 також зафіксовано нижчі значення коефіцієнта варіації порівняно із серійним диском, проте їхні показники поступалися результату четвертого варіанта. Похибка дослідів із піском становила 3,5 % для зразка № 1, 4,3 % — для зразків № 2 і № 3, 4,0 % — для зразків № 4 і № 5.

Робоча ширина захвату для перших чотирьох конструкцій дорівнювала 0,9 м, а для серійного диска — 0,85 м. Таким чином, у дослідженій конфігурації зменшення коефіцієнта варіації для зразка № 4 не супроводжувалося зниженням ширини розсіювання піску. Це вказує на доцільність подальшого дослідження конструкції з напрямними ребрами, розташованими між основними лопатями та орієнтованими відносно їхніх зовнішніх радіусів. Випробування з карбамідом виявили більш виражену залежність показників розсіювання від конструктивного виконання диска. Коефіцієнт варіації становив 35 % для зразка № 1, 25 % — для № 2, 23 % — для № 3, 10 % — для № 4 і 89 % — для серійного зразка № 5. Найменше значення показника також зафіксовано для конструкції № 4.

Таблиця 1 - Результати досліджень п'яти робочих дисків відцентрового типу

Показники	Зразки робочих органів				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Пісок					
Коефіцієнт варіації, %	43	43	35	26	95
Похибка досліду, %	3,5	4,3	4,3	4,0	4,0
Робоча ширина захвату, м	0,9	0,9	0,9	0,9	0,85
Карбомід					
Коефіцієнт варіації,%	35	25	23	10	89
Похибка досліду,%	4,0	4,5	4,0	3,9	4,0
Робоча ширина захвату, м	1,3	2,3	0,57	2,5	2,3

Порівняно із серійним диском коефіцієнт варіації зменшився на 79 відсоткових пунктів, що підтверджує перевагу цього конструктивного варіанта за рівномірністю розподілу карбаміду в умовах експерименту. Похибка дослідів із карбамідом перебувала в межах 3,9–4,5 %: для зразка № 1 вона становила 4,0 %, № 2 — 4,5 %, № 3 — 4,0 %, № 4 — 3,9 %, № 5 — 4,0 %. Робоча ширина захвату для відповідних конструкцій дорівнювала 1,3; 2,3; 0,57; 2,5 і 2,3 м. Найбільше значення цього параметра отримано для зразка № 4 — 2,5 м. Порівняно із серійним варіантом ширина захвату збільшилася на 0,2 м, або приблизно на 8,7 %. Водночас для зразка № 3 зафіксовано найменшу ширину захвату — 0,57 м, що свідчить про недостатню ефективність такого конструктивного виконання за цим критерієм.

Сукупне оцінювання результатів із двома матеріалами засвідчило, що зразок № 4 характеризується найкращим поєднанням рівномірності розподілу та ширини розсіювання в межах проведених випробувань. Для піску коефіцієнт варіації становив 26 % за ширини захвату 0,9 м, а для карбаміду — відповідно 10 % і 2,5 м. Виявлена відмінність результатів для різних матеріалів указує на необхідність урахування їхніх фізико-механічних властивостей під час оцінювання ефективності конструкції. Зокрема, характер руху частинок і їхня взаємодія з поверхнями диска та напрямними ребрами можуть впливати на формування траєкторій розсіювання, тому переваги конструктивного рішення мають визначатися за результатами випробувань із конкретним матеріалом. За отриманими експериментальними даними зразок № 4 обґрунтовано обрати як перспективний варіант для подальшого конструктивного опрацювання та виготовлення натурного зразка. Наступний етап досліджень доцільно спрямувати на визначення раціональної геометрії поверхні диска, уточнення кутів нахилу напрямних ребер і встановлення їхнього впливу на дальність та рівномірність розподілу мінеральних добрив у польових умовах.

ВИСНОВКИ

За результатами порівняльних експериментальних досліджень установлено, що конструктивне виконання роторного вузла істотно впливає на рівномірність розподілу сипкого матеріалу та ширину його розсіювання. Найкращі сукупні показники серед досліджених варіантів продемонстрував зразок № 4 із напрямними ребрами, установленими під кутом 12° і заввишки 0,08 радіуса диска.

Під час розсіювання піску для зразка № 4 отримано коефіцієнт варіації 26 % за робочої ширини захвату 0,9 м. Для серійного диска відповідні значення становили 95 % і 0,85 м. Отже, застосування експериментальної конструкції № 4 забезпечило істотне зменшення варіації розподілу матеріалу без скорочення ширини розсіювання в умовах проведеного досліду.

Під час випробувань із карбамідом зразок № 4 забезпечив коефіцієнт варіації 10 % і робочу ширину захвату 2,5 м. Для серійного диска ці показники становили 89 % і 2,3 м. Таким чином, у межах

експерименту конструкція № 4 характеризувалася найвищою рівномірністю розподілу карбаміду та найбільшою шириною розсіювання серед п’яти досліджених варіантів.

Похибка дослідів становила 3,5–4,3 % під час роботи з піском і 3,9–4,5 % під час роботи з карбамідом. Це дає змогу проводити порівняльне оцінювання досліджених конструкцій за прийнятою методикою, водночас остаточну оцінку їхньої ефективності необхідно підтвердити випробуваннями натурного зразка в умовах, наближених до експлуатаційних.

Зразок № 4 рекомендовано для подальшого конструктивного опрацювання та виготовлення натурного роторного вузла. Подальші дослідження мають передбачати аналітичне обґрунтування геометрії диска, визначення раціональних кутів нахилу напрямних ребер відносно площини диска й горизонту, а також експериментальну перевірку рівномірності внесення мінеральних добрив за різних режимів обертання та властивостей гранульованого матеріалу.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Ponomarenko, N. O., Tesliuk, H. V., Kobets, O. M., Lepet, Ye. I., Chasov, D. P., & Beihul, V. O. (2024). Udoskonalenyi vidtsentrovyi dysk z podviinoiu podacheiu dobryv [Improved centrifugal disk with double fertilizer supply]. Zbirnyk naukovykh prats Dniprovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu (Tekhnichni nauky), 1(44), 91–98. https://doi.org/10.31319/2519-2884.44.2024.11

Przywara, A., Santoro, F., Kraszkiewicz, A., Pecyna, A., & Pascuzzi, S. (2020). Experimental study of disc fertilizer spreader performance. Agriculture, 10(10), Article 467. https://doi.org/10.3390/agriculture10100467

Villette, S., Piron, E., & Miclet, D. (2017). Hybrid centrifugal spreading model to study the fertiliser spatial distribution and its assessment using the transverse coefficient of variation. Computers and Electronics in Agriculture, 137, 115–129. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.023

Kömekçi, F., Kömekçi, C., Doğu, D., & Aykas, E. (2024). Effects of number of vanes, vane angle and disc peripheral speed on the distribution uniformity of twin-disc granular fertilizer broadcaster. Heliyon, 10(18), Article e37922. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37922

Yıldırım, Y., & Kara, M. (2012). Effect of different vane combinations on fertilizer distribution uniformity with various flow rates in spinning disc broadcasters. Journal of Agricultural Sciences, 18(1). https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001192

Ou, M., Wang, G., Lu, Y., Zhang, Z., Pan, H., Jia, W., & Dong, X. (2025). Structure optimization and performance simulation of a double-disc fertilizer spreader based on EDEM-CFD. Agronomy, *15*(5), Article 1025. https://doi.org/10.3390/agronomy15051025

Kobets, A. S., Derkach, O. D., Ilchenko, V. Yu., Puhach, A. M., & Nahiieva, N. O. (n.d.). Robochyi orhan dlia rozsiiuvannia mineralnykh dobryv [Working body for spreading mineral fertilizers] (Ukrainian Patent No. 09385).

Kobets, A. S., Derkach, O. D., Ilchenko, V. Yu., Puhach, A. M., & Nahiieva, N. O. (2011). Orhan dlia rozsiiuvannia mineralnykh dobryv [Body for spreading mineral fertilizers] (Ukrainian Patent No. 56441).

Havryliuk, V. P. (2012). Tekhnolohii i tekhnika vnesennia dobryv [Technologies and techniques of fertilizer application]. Vyshcha osvita.

Poliakov, V. V. (2015). Mashyny dlia vnesennia dobryv: Teoriia i rozrakhunok [Fertilizer application machines: Theory and calculation]. Ahrarna nauka.

Kovalenko, V. H., & Lytvynenko, P. S. (2020). Optymizatsiia rivnomirnosti rozpodilu dobryv vidtsentrovymy rozkyldachamy [Optimization of fertilizer distribution uniformity by centrifugal spreaders]. Silskohospodarska tekhnika i tekhnolohii, (3), 25–31.