

УДК 631.333

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧОГО ОРГАНУ МАШИНИ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ

Пономаренко Н.О., к.т.н.

*(Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет)*

*Розроблено програму, методикау та отримані результати експериментальних досліджень відцентрового робочого органу для внесення мінеральних добрив. Запропоновано роторний робочий орган, конструкційні особливості якого дозволяють покращити рівномірність розсіювання мінеральних добрив.*

**Постановка проблеми.** Світовий і вітчизняний досвід свідчить, що за оптимальних умов частка добрив у формуванні приросту валових зборів продукції становить близько 50 %. Використання добрив дає змогу активно регулювати забезпечення рослин поживними речовинами і програмувати умови одержання запланованого врожаю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У процесі планування потреби в добривах сільськогосподарські підприємства застосовують розроблені науково-дослідними установами зональні, диференційовані за типами ґрунтів нормативи (норми внесення гною, азотних, фосфорних і калійних добрив на 1 га посівів для одержання врожаю в певних інтервалах, норми витрат добрив на одиницю продукції для культур, норми виносу азоту, фосфору і калію з урожаєм сільськогосподарських культур). Ці норми мають задовольняти потребу рослин у поживних речовинах, високу окупність використання добрив, забезпечити виробництво доброякісної продукції, розширене відтворення родючості ґрунту, запобігати шкідливій дії добрив на довкілля і якість продукції.

Основними недоліками відцентрових машин для внесення мінеральних добрив є:

- висока нерівномірність розподілу за шириною захвату;
- перерозподіл по фракціях в межах ширини захвату;
- не стабільність ширини захвату.

Зрозуміло, що якість розкидання вітчизняними машинами треба підвищити, але це вимагає суттєвих витрат. Тому, при удосконаленні технічного рівня машин треба орієнтуватись на економічно обґрунтовані межі. Все це вказує на необхідність подальших досліджень технологічного процесу внесення добрив.

В ході аналітичних досліджень нами була створена математична модель внесення гранульованих добрив відцентровим дисковим апаратом і

запропонована конструктивна схема розкидача власної конструкції.

**Мета дослідження** – підвищення показників якості внесення мінеральних добрив шляхом упровадження вдосконаленого відцентрового розкидача мінеральних добрив. В основу розробки конструкції покладено принцип забезпечення оптимальності та ефективності технологічного процесу якісного внесення мінеральних добрив.

У відповідності до мети нами окреслено коло задач, вирішення яких є необхідною і достатньою умовою досягнення поставленої мети.

1. Розробити методики визначення:

- параметрів розподілу гранул по поверхні ґрунту в лабораторних умовах;
- допустимої швидкості удару гранул по поверхні диска з урахуванням вологості гранул;
- впливу вітру на параметри розподілу гранул по поверхні;
- впливу коливань висоти розташування диска та кута нахилу на розподіл гранул по поверхні поля.

2. Розробити конструктивну схему дослідної установки та виготовити стенд.

3. Виготовити модель диска, в якій передбачити можливість зміни основних конструктивних параметрів.

4. Провести лабораторні експерименти у відповідності до програми досліджень.

5. Виконати математичну обробку одержаних результатів.

6. Визначити оптимальні параметри дискового розкидача.

**Програма експериментальних досліджень.** Розробленою програмою експериментальних досліджень передбачено проведення лабораторних і польових випробувань.

Лабораторні дослідження включили:

- визначення основних механіко-технологічних властивостей добрив, що використовуються в дослідках;
- встановлення розподілу гранул за геометричними параметрами: частота обертання  $n$  диска, об/хв; кути  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  постановки напрямних потоку, град; кути  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ , – кути нахилу лопатей до площини обертання диска, град;
- розрахунок параметрів розподілу по поверхні окремо від кожного каналу та одночасно від усіх каналів для різного фракційного складу добрива;
- обчислення шляхом багатофакторного експерименту конструктивних параметрів диска, за яких розподіл є найбільш наближеним до рівномірного;
- визначення для диска з оптимальними параметрами впливу на кінцевий розподіл добрив вітру різної направленості і швидкості;
- встановлення впливу на кінцевий розподіл коливань висоти розташування диска та кута нахилу відносно поверхні ґрунту.

Програма польових випробувань передбачала:

1. Виготовлення дослідного зразка диска, оптимізованого за результатами аналітичних та лабораторних досліджень.

2. Визначення якості поверхневого внесення добрив за різних норм внесення.

3. Проведення порівняльного аналізу якості внесення серійним та розробленим розкидачами.

Характеристика вихідного матеріалу.

Параметри розподілу гранулометричного складу.

Як відомо [3] фракційний склад гранул не є постійною величиною і одночасно з цим багато в чому визначає їх розподіл по поверхні ґрунту. Задачею наших досліджень є створення робочого органу, в якому вплив цього параметру був би зведений до мінімуму.

Враховуючи те, що розроблена математична модель передбачає використання не загального закону розподілу, а відсоткового вмісту фракцій, нами був використаний метод просіювання крізь решета з визначенням саме вагового співвідношення фракцій.

Відомо [1,2], що виробники мінеральних добрив орієнтуються на розмір гранул 1,0 – 5 мм. Менші за розміром суттєво відрізняються за аеродинамічними властивостями, більші – схильні до руйнування. Тому, для решітного класифікатора нами обраний наступний шаг діаметрів отворів:

5 – 4 – 3 – 2 – 1,0 мм.

Добрива висипалися у верхнє решето решітного класифікатора і почергово просіювалися на решетах (рис.1).



Рисунок 1 – Решітний класифікатор механічного складу

Окремі фракції зважувались і підраховувався їх відсотковий вміст. Додатково обчислювався коефіцієнт структурності

$$K_{CT} = \frac{A}{B - A}, \quad (1)$$

де  $A$  – маса агрегатів в діапазоні 1,0 – 5 мм;

$B$  – загальна маса взятої проби.

Механіко-технологічні властивості.

В ході експерименту визначали основні механіко-технологічні властивості добрив, що використовувались для досліджень.

Для визначення вологості, питомої ваги, коефіцієнтів внутрішнього та зовнішнього тертя, коефіцієнту відновлення при ударі використовувались стандартні методики [4]. Оригінальними можна вважати методики визначення

припустимої швидкості удару гранул на металеву поверхню та їх аеродинамічних властивостей.

Припустиму швидкість удару визначали за наступною схемою (рис.2).

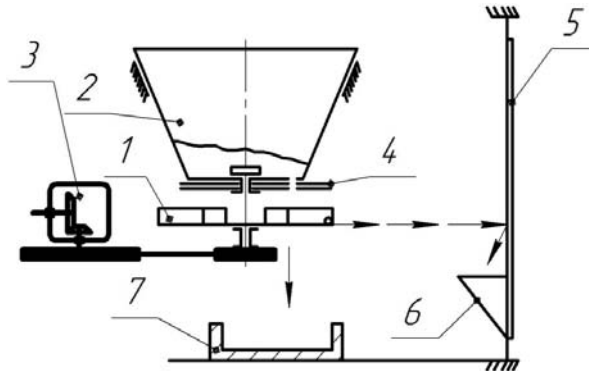


Рисунок 2 – Схема до визначення припустимої швидкості удару гранули добрива на металеву поверхню

Лабораторна установка складається з лопатєвого валу 1 з вертикальною віссю обертання, електродвигуна 3 з тиристорним регулятором частоти обертання, бункера 2, лотка 7, дозатора 4, 5 – матір частого екрану та збірника 6 відпрацьованого матеріалу.

Перед початком роботи відбирається 1,0 – 2 кг досліджуваного добрива і визначається його гранулометричний склад. Фракції менші за 1,0 мм та більші за 5 мм відкидаються. Добрива завантажують у бункер, включають електродвигун і тиристорним регулятором встановлюють початкову швидкість обертання ротора. Відкривають заслінку бункера і спрямовують потік в зону дії лопатей. При потраплянні на лопать добрива відбиваються в напрямку збірника 6. Не відбиті гранули потрапляють у лоток 7. Гранули з збірника 6 і лотка 7 змішують і визначають фракційний склад. Результат порівнюють з вихідним. Експеримент проводять поступово збільшуючи швидкість обертання до фіксування збільшення за вагою мілких фракцій, що свідчить про наявність травмування. Швидкість удару визначається як  $V = \omega \cdot R$ , де  $\omega$  – частота обертання,  $R$  – відстань від центру обертання до точки контакту.

Коефіцієнт вітрильності визначали за формулою

$$K_{\Pi} = g/V^2, \quad (2)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння;  $V$  – критична швидкість.

Критичну швидкість визначали на парусному класифікаторі дещо зміненої конструкції (рис.3), в якому швидкість потоку заміряли безпосередньо анемометром 3.

В пристрої повітряний потік утворюється вентилятором, який живиться від трансформатора. Швидкість потоку регулюється заслінкою. Застосування анемометра на відміну від трубки Піто дозволяє безпосередньо заміряти швидкість без виконання допоміжних розрахунків. До того ж конструкція анемометра сприяє вирівнюванню потоку, тобто робить його більш ламінарним.

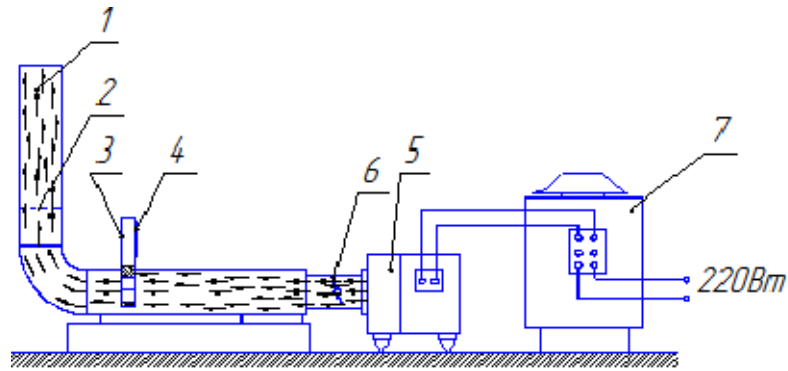


Рисунок 3 – Схема модифікованого парусного класифікатора: 1 – труба, 2 – сітка, 3 – анемометр, 4 – екран анемометра, 5 – дросель, 6 – вентилятор, 7 – трансформатор

Лабораторні дослідження.

Конструкція лабораторної установки.

Для виконання програми лабораторних досліджень нами була виготовлена лабораторна установка (рис.4.).

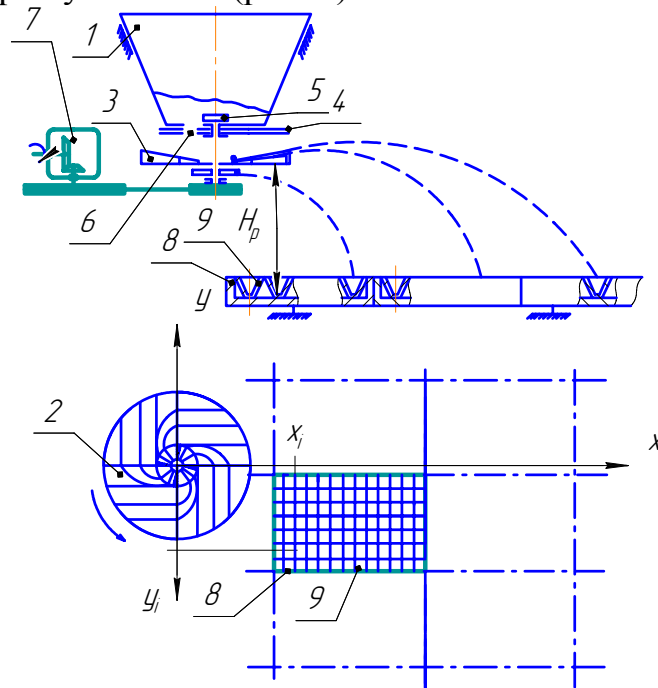


Рисунок 4 – Схема лабораторної установки:

1 – бункер; 2 – диск; 3 – лопать; 4 – дозатор; 5 – активатор; 6 – вікно активатора; 7 – редуктор; 8 – лоток; 9 – місткість

Установка складається з рами (умовно не показана), на якій у підшипниковій опорі з можливістю вільного обертання встановлено досліджуваний диск 2 зі змінними лопатями 3 (рис.5.). До диска пасовою передачею доведений обертаючий момент від редуктора 7. Редуктор живиться від колекторного електродвигуна змінного струму, що дозволяє регулювати частоту його обертання. Над диском встановлений бункер 1 з дозатором 4, який подає гранули добрива на диск.

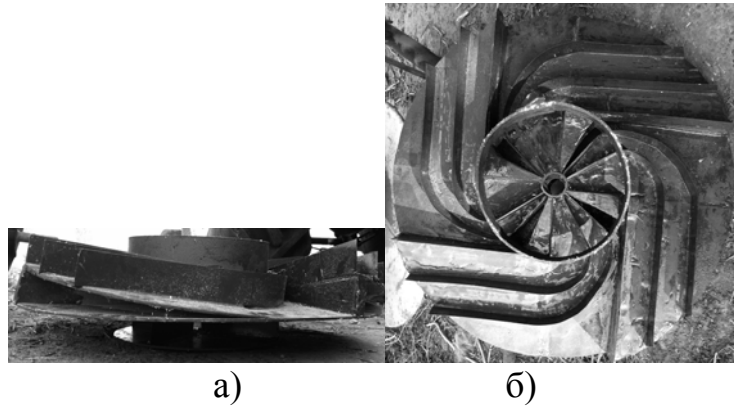


Рисунок 5 – Дослідний зразок диска: а – вид збоку; б – вид зверху

Особливістю лотка є те, що в ньому встановлені пробовідбірники, які приймають падаючі гранули. Це надає можливості покоординатно ( $X_1$ ,  $Y_1$ , рис.5.) підсліджувати розподіл гранул. В лабораторній установці також задіяні електронні ваги FEN Series (на схемі не показано).

Порядок виконання досліджень.

Лабораторні дослідження виконувались в два етапи: без впливу та з впливом вітру на результати розподілу. На першому етапі (без впливу вітру) визначались оптимальні параметри розкидача, на другому – перевірялась адекватність розробленої математичної моделі.

Особливість досліджень полягала в великій кількості повторів, що вимагало постійного контролю механіко-технологічних властивостей добрива і особливо гранулометричного складу. В разі відхилень параметри вихідного матеріалу корегувались додаванням гранул певного гранулометричного діапазону.

У всіх експериментах використовувалась однакова вага технологічного матеріалу – 5 кг.

Перед початком експерименту лотки з встановленими стаканами встановлювались на поверхні таким чином, щоб максимально перекрити ширину захвату. Бункер 1 (рис.4.) заповнювався технологічним матеріалом. За допомогою попередньо відградуйованого регулятора встановлювалась необхідна частота обертання і лабораторна установка приводилася в дію до повної витрати технологічного матеріалу. По закінченню експерименту стакани 9 виймалися з лотка, фіксувались координати їх положення відносно осі диска і відбувалось зважування.



Рисунок 6 – Зовнішній вигляд механізму приводу диска

Дію вітру моделювали шляхом встановлення лопатевого вентилятора. В зв'язку з тим, що параметри розподілу без дії вітру нами були попередньо покоординатно встановлені, в дослідах використовувався тільки один лоток. Швидкість і напрямок повітряного потоку регулювались зміною положення вентилятора 3 відносно лотка 2 (рис.7.). Швидкість потоку замірялась анемометром 4.

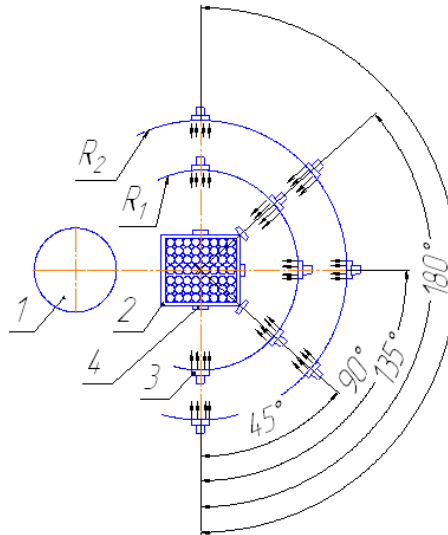


Рисунок 7 – Схема досліджень дії повітряного потоку: 1 – диск розкидача; 2 – лоток пробовідбірниками; 3 – вентилятор; 4 – анемометр

Методика статистичної обробки результатів досліджень

Після проведення кожного етапу експерименту гранули в кожному пробовідбірнику зважувались і знаходилося середнє

$$X_{CP} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{I=1}^n X_I \quad (3)$$

де  $X_I$  – вага гранул в окремо взятому про;  $n$  – кількість пробовідбірників.

Знаходимо середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{I=1}^n (X_I - X_{CP})^2} \quad (4)$$

Знаходимо коефіцієнт варіації, який тотожно дорівнює нерівномірності внесення у відсотковому представленні

$$v = \frac{\sigma}{X_{CP}}, \quad (5)$$

$$P = 100 \cdot v,$$

де  $P$  – нерівномірність внесення.

Результати. Механіко-технологічні властивості використаних в експерименті добрив.

Лабораторні дослідження проводились з використанням найбільш розповсюджених гранульованих добрив, а саме: комбінованих, аміачної селітри, суперфосфату, суміші НРК. Враховуючи великий вплив механіко-технологічних

властивостей задіяних в експерименті матеріалів на кінцевий розподіл по поверхні ґрунту, перед початком робіт нами визначались їх основні властивості. Результати представлені у вигляді таблиць 1 та 2.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості використаних в експерименті добрив

Вид добрива	Вологість, %	Об'ємна маса, т/м <sup>3</sup>	Кут тертя, град		Максимально допустима швидкість удару по металевій поверхні, м/с
			по металу	внутрішній	
Аміачна селітра	1,5–2,1	0,79–0,83	31–35	39–43	10,2
Суперфосфат	4,4–4,9	1,13–1,19	26–34	31–35	11,3
Суміш NPK	5,8–6,7	1,03–1,12	30–35	40–44	9,7

Таблиця 2 – Гранулометричний склад та аеродинамічні властивості використаних в експерименті добрив

Вид добрива	Гранулометричний склад, % за масою						Виміряна критична швидкість, м/с			Розрахований коефіцієнт парусності		
	Розмір фракції, мм						1–2	2–3	3–5	1–2	2–3	3–5
	> 5	5–4	4–3	3–2	2–1	<1,0						
Аміачна селітра	1,5	12,3	39,7	24,9	21,4	0,2	7,9	9,4	11,0	0,157	0,111	0,081
Суперфосфат	0,7	2,6	22,8	49,9	20,6	3,4	8,2	9,9	11,6	0,146	0,100	0,073
Суміш NPK	2,3	38,4	31,0	21,9	5,3	1,1	7,8	9,6	12,3	0,161	0,106	0,064

Коефіцієнт структурності по видам добрив: аміачна селітра - 0,983; суперфосфат - 0,959; суміш NPK - 0,966.

Лабораторні дослідження впливу конструктивних параметрів та повітряного потоку на якість розкидання.

Виконані аналітичні дослідження запропонованого нами розкидача показують, що найбільший вплив на якісні показники розподілу гранул по поверхні мають наступні параметри (рис.8):

- кут  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  постановки направляючих потоку;
- кут  $\gamma$  нахилу лопатей до площини обертання диска;
- частота обертання  $n$  диска.

Аналіз можливих варіантів конструкцій відцентрового робочого органа для внесення мінеральних добрив дозволив прийняти схему розсіювача, конструкція якого передбачає формування розподілення потоків гранул при завантажуванні (рис.8).



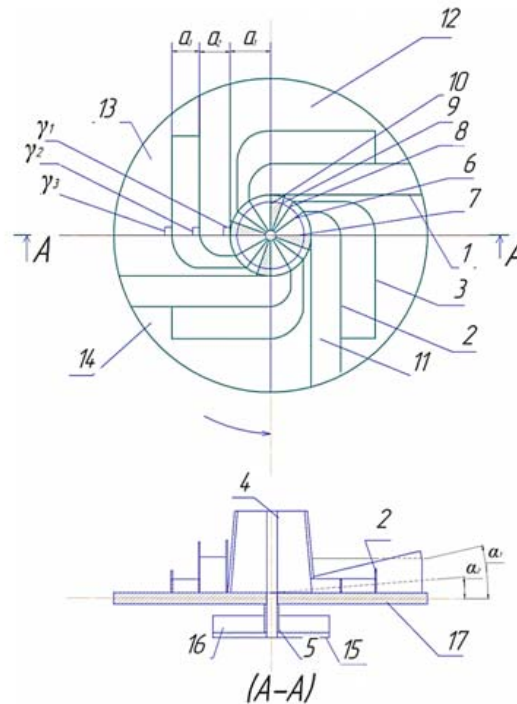


Рисунок 8 – Конструктивна схема відцентрового робочого органу для внесення мінеральних добрив

Розкидач складається з диска 17, чотирьох лопатей (секторів 11–14), кожна з яких утворюється двома лопатками у яких бічні стінки утворюються вертикальними ребрами, а днища нахилені під кутами  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  до горизонтальної поверхні диска. Кожне ребро (1–3) перпендикулярне до спільної лінії перетину днищ лопаток і площини диска (на рис.4 напрямком кожного ребра позначений кутами  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\gamma_3$  відповідно). У центрі диска знаходиться живильник 4 конічної форми, внутрішній простір якого розбито на окремі сектори радіальними вертикальними пластинами (6–10). Кожна пластина в нижній частині виходить за межі живильника на висоту ребра і нижнім краєм приєднується до горизонтальної центральної частини диска. Бічний край виступаючої з живильника (конічної форми) частини з'єднується з криволінійною ділянкою ребра 2, розміщеною на горизонтальній площині диска. У такий самий спосіб ребро 3 з'єднується з виступаючим бічним краєм пластини 8, а ребро 1 – з 9. У кожній чверті розкидача, де знаходиться робоча лопать, живильник розбивається пластинами на чотири сектори. Три з них робочі, через два туки падають на верхній диск, причому на другий сектор припадає 53,6 % об'єму добрив від першого, а на останній – третій – найменший 11,24 % того ж самого об'єму. З цього сектора добрива потрапляють на диск 15, що розташований нижче на 60 мм від верхнього, що забезпечується втулкою 5, на якому розміщені перпендикулярно одне одному напрямні ребра 16. Один зі секторів живильника закритий зверху (рис.8,

заштрихований). Площі секторів призначаються пропорційними витраті матеріалу, що припадає на кожне ребро. Матеріал, потрапляючи до секторів, сходиться на горизонтальну поверхню диска, з якої, рухаючись між криволінійними ділянками ребер, потрапляє на нахилені лопатки.

Польові дослідження.

Дослідження з впливу повітряного потоку на розподіл гранул проводили на швидкостях повітряного потоку до 3,0 м/с. На більших швидкостях нерівномірність різко зростає і виходить за межі агротехнічно допустимої. Отримані дані свідчать про те, що повітряний потік негативно впливає на рівномірність. Напрямок потоку теж є вагомим фактором, який визначає рівномірність. Так, найменший вплив спостерігається при напрямку вітру, перпендикулярному до руху агрегату, що можна пояснити отриманням найменших доз крайніми лотками. Найбільший вплив виявився при дії двох кутів: 45 та 135°. Проте значення нерівномірності за наявності повітряного потоку в цілому знаходилися в межах агротехнічних вимог (рис. 9).

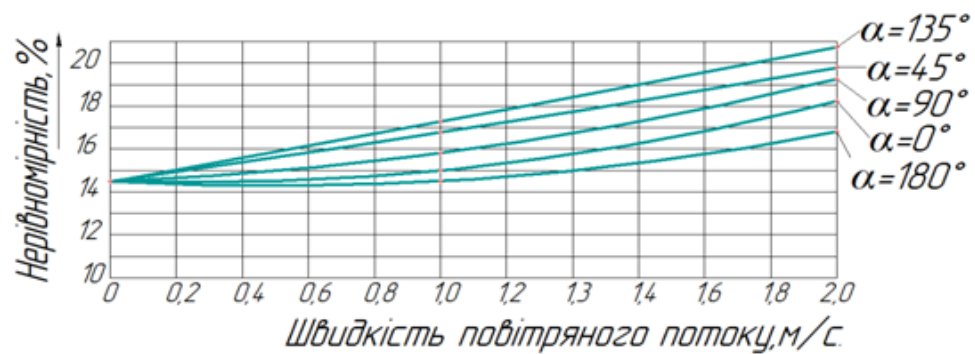


Рисунок 9 – Вплив швидкості повітряного потоку на нерівномірність розподілу

Польові випробування проводили на полях господарств ТОВ «Чемпіон» Павлоградського району, ССТ «Діброва» Широківського та ФГ «Ларіни» Солонянського району Дніпропетровської області. У випробуваннях використовували машини МВД-900, МБУ-0,5 та Garmet-500 із використанням як дослідних, так і серійних дисків (рис.10).

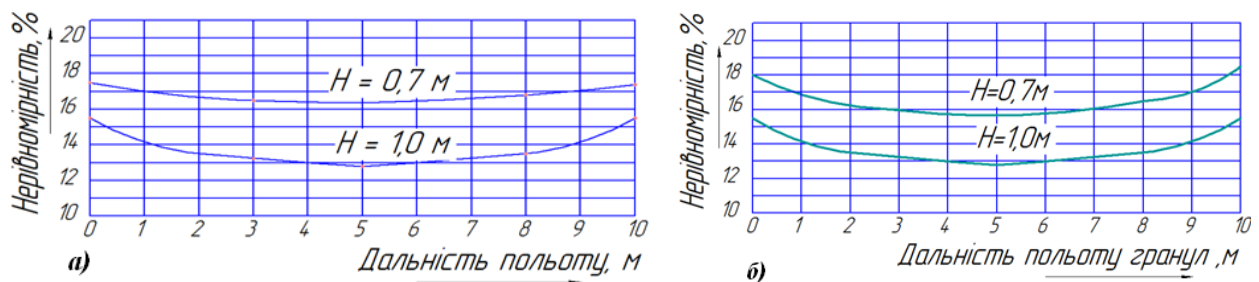


Рисунок 10 – Розподіл гранул залежно від висоти розташування експериментального диска над рівнем ґрунту: а) машиною ROTA-FLOW RS-M; б) машиною МБУ-0,5

Аналіз отриманих залежностей підтверджує, що рівномірність розподілу гранул в цілому задовільна. Характерним є те, що зі збільшенням висоти встановлення диска над рівнем ґрунту нерівномірність внесення добрив зменшується. Машина зі серійними дисками допускає нерівномірність на рівні 23–27 %, що суттєво перевищує показник як модернізованої машини, так і ROTAFLOW RS-M. Нерівномірність розкидання запропонованою конструкцією менша за ROTAFLOW RS-M в середньому на 7–10 %. Однак, цей показник у останньої більш стабільний за значенням по ширині захвату.

### Висновки

1. Прийнята програма досліджень дозволяє в повному обсязі визначити параметри, необхідні для оцінки адекватності розробленої математичної моделі.

2. Як показали проведені експерименти використання даних методик є виправданим. Лабораторними дослідженнями доводиться адекватність розробленої математичної моделі. Встановлені розміри елементів конструкції відцентрового робочого органа, за яких забезпечується рівномірне внесення мінеральних добрив на ділянку шириною 20 м:

- діаметр диска – 600 мм;
- діапазон частоти обертання диска – 54,45–58,64 рад/с;
- висота встановлення диска над рівнем ґрунту – 1,0 м;
- кількість лопатей (секторів) – 4;
- кількість напрямних ребер на лопаті (секторі) – 3;
- кількість дисків – 2 (нижній та верхній з різними діаметрами);
- кути нахилу напрямних для трьох потоків до площини обертання диска:  
 $\alpha_1 - 13^\circ$ ,  $\alpha_2 - 8^\circ$ ,  $\alpha_3 - 0^\circ$ ;
- кути нахилу ребер до площини обертання дисків –  $90^\circ$ ;
- відстань між верхнім та нижнім диском – 60 мм;
- діаметр нижнього диска – 120 мм;
- висота лопатей, які закріплені на нижньому диску – 45 мм;
- висота живильника – 60 мм;
- діаметр живильника біля основи – 240 мм, на вершині – 196 мм.

Пропонується розробка та застосування запропонованого відцентрового робочого органу на серійних машинах для внесення добрив, вапна, насіння трав (сидератів), який підвищує якісні показники їх роботи за високої продуктивності.

3. Нерівномірність внесення мінеральних добрив модернізованим диском знаходиться в межах 14,5 – 21%, при впливі швидкості вітру до 3 м/с.

## Список літератури

1. Землеробство з основами ґрунтознавства і агрохімії / За ред. В.П.Гудзя. 2 видання. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 408 с.
2. Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва / За ред. Є.Г.Дегодюка – К.: Урожай, 1992. – 317 с.
3. *Ситник В.П.* Вдосконалення економічного механізму в АПК. – К.: Урожай, 1989. – 184 с.
4. Агропромисловий комплекс України: стан та перспективи розвитку (1990–2000) / За ред. П. Г. Саблука, М. Я. Кропивка. – К.: ІАЕ УААН, 1999. – 252 с.

## Аннотація

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА МАШИНЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

**Пономаренко Н.О.**

*Разработано программу, методику и получены результаты экспериментальных исследований центробежного рабочего органа для внесения минеральных удобрений. Предложен роторный рабочий орган, конструкционные особенности которого позволяют улучшить равномерность рассеивания минеральных удобрений.*

## Abstract

### RATIONALE FOR THE CONSTRUCTION OF CENTRIFUGAL SPREADER OF MINERAL FERTILIZERS

**N. Ponomarenko**

*The program, methodology and got results of experimental researches of centrifugal working organ, is worked out for bringing of mineral fertilizers. Investigational construction features of rotor working organ and their influence on the high-quality indexes of work of throwing about of mineral fertilizers.*