

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ І БІОТЕХНОЛОГІЙ ім. С.З.ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ**

**ДИПЛОМНА РОБОТА
другого магістерського рівня**

на тему: **«Оцінка якісних показників технології внесення мінеральних добрив»**

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-61

Спеціальності 208 „Агроінженерія”
(шифр і назва)

Муха В. М.
(Прізвище та ініціали)

Керівник: Ковалишин С.Й.
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: Шарибура А.О.
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

УДК 621.433.052

Муха В.М. «Оцінка якісних показників технології внесення мінеральних добрив»

//Дипломна робота. – Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини і біотехнологій ім. С.З.Гжицького. 2025. – 56 с.

В роботі наведено оцінку якості роботи внесення мінеральних добрив відцентровими розкидачами.

Здійснено аналіз конструкцій розкидачів і технологій внесення мінеральних добрив. Окреслено теоретичні передумови дослідження рівномірності внесення мінеральних добрив у поперечній площині.

Проведено вимірювання грануло-метричного складу добрив та оцінено рівномірність їх внесення у польових умовах. Оптимальною фракцією для мінеральних добрив можна вважати частинки з інтервалом розмірів 2 - 4 мм, для яких середнє значення коефіцієнта варіації становило 8,53%. Під час оцінки якості внесення добрив аміачної селітри відцентровий розкидач досяг коефіцієнта варіації, який був на 4-10% вищим, ніж для гранульованого добрива. Найбільшої нерівномірності досягла фракція 1-2 мм (в середньому 19,08%).

В роботі розроблено заходи з охорони праці в процесі внесення добрив відцентровими розкидачами. Проведено техніко-економічну оцінку ефективності роботи розкидачів мінеральних добрив.

Таблиць 10; рисунків 12; бібліогр. джерел 25

ЗМІСТ.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РОЗКИДАЧІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ.....	9
1.1. Необхідність удобрення сільськогосподарських культур.....	9
1.2. Застосування мінеральних добрив.....	9
1.3. Класифікація та характеристика добрив.....	11
1.4. Технології удобрення мінеральними добривами.....	12
1.5. Характеристика обладнання для внесення твердих мінеральних добрив.....	13
1.6. Пневматичні розкидачі мінеральних добрив.....	17
1.7. Тенденції в технології внесення добрив.....	18
Висновки за розділом.....	24
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ У ПОПЕРЕЧНІЙ ПЛОЩИНІ.....	25
2.1. Розрахунок ваги добрив у пропущених збірних лотках.....	25
2.2. Розрахунок коефіцієнта варіації рівномірності розкидання мінеральних добрив.....	26
Висновки за розділом.....	28
3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	29
3.1. Об'єкт досліджень.....	29
3.2. Методика вимірювання поперечної рівномірності внесення добрив	32
3.2.1. Методика та умови польових вимірювань.....	32
3.2.2. Методика лабораторних вимірювань властивостей мінеральних добрив.....	34
Висновки за розділом.....	35
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	36
4.1 Результати лабораторних вимірювань фізико-механічних властивостей мінеральних добрив.....	36

4.2 Результати оцінки рівномірності внесення розкидачем	
мінеральних добрив у польових умовах.....	37
Висновки за розділом.....	42
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	
СИТУАЦІЯХ.....	43
5.1. Загальні положення	43
5.2. Заходи безпеки, необхідні перед початком роботи.....	43
5.3. Вимоги безпеки під час виконання робіт.....	44
5.4. Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм.....	44
5.3. Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	47
Висновки за розділом.....	47
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	48
Висновки за розділом.....	50
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

ВСТУП

Достатність якісних та доступних продуктів харчування для прогодування зростаючого населення з підвищеними вимогами до їх якості та складу є

глобальною проблемою. У контексті вищезазначеної проблеми важливу роль відіграє забезпечення живлення рослин шляхом удобрення, як органічним, так і мінеральними [2, 4, 13, 15, 16, 20].

З розвитком рослинництва підживлення мінеральними добривами є значним фактором впливу самого розвитку та виробництва. Мінеральні добрива за своїми властивостями та вмістом поживних речовин впливають на родючість ґрунту, доступність поживних речовин для росту сільськогосподарських культур, а отже, і на розмір отриманого врожаю. Інтенсивне рослинництво призводить до втрати поживних речовин з ґрунту, які необхідно регулярно поповнювати і таким чином забезпечувати оптимальне співвідношення мінеральних компонентів у ґрунті.

Однак мінеральні добрива становлять значну частину виробничих витрат, оскільки їхня закупівельна ціна є значною. Тому сільськогосподарські підприємства повинні забезпечити правильне та достатньо цілеспрямоване застосування цих добрив. Тому виробники добрив намагаються пропонувати продукти, метою яких є забезпечення достатнього обсягу вирощеної продукції за найнижчими витратами та найменшим впливом на довкілля.

Для ефективного використання мінеральних добрив важливо забезпечити правильне їх внесення механізованими засобами [5,7]. Однак на роботу розкидачів впливають фізичні та механічні властивості мінеральних добрив, через що мають суттєвий вплив на досягнутий обсяг виробництва [8].

Високоякісне та ефективне внесення мінеральних добрив є одним з основних заходів кожного сільськогосподарського підприємства, яке прагне виробляти високоякісні, безпечні та доступні продукти харчування для широкого кола споживачів.

З цієї точки зору необхідно приділяти високу увагу цьому питанню на всіх його рівнях.

Метою роботи було дослідити рівномірність внесення розкидачами мінеральних добрив залежно від їх гранулометричного складу.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні

завдання:

- проаналізувати конструкції розкидачів та технології внесення мінеральних добрив;
- ознайомитися з методикою оцінки якості внесення розкидачами мінеральних добрив;
- провести вимірювання фізико-механічних властивостей мінеральних добрив у лабораторних умовах;
- оцінити рівномірність внесення розкидачем мінеральних добрив у польових умовах;
- провести техніко-економічну оцінку роботи розкидачів мінеральних добрив.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РОЗКИДАЧІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

1.1. Необхідність удобрення сільськогосподарських культур

Під час вирощування врожаїв з поля виносяться поживні речовини рослинами і ґрунт збіднюється. Якби винесені поживні речовини не поповнювалися в ґрунті, його родючість знизилася б, і це також мало б негативний вплив на навколишнє середовище [10].

Тому піклування про ґрунт та поповнення винесених поживних речовин – це також турбота про навколишнє середовище. Найбільш підходящим методом підживлення є удобрення гноєм, компостом або сидератами. Приорюючи їх, ми забезпечуємо ґрунт відповідним співвідношенням вуглецю та азоту без ризику забруднення ґрунтових вод.

Однак підживлення лише рослинами недостатньо, тому використання мінеральних добрив є необхідним заходом.

Урожай сільськогосподарських культур є результатом комплексного впливу кліматичних та ґрунтових факторів, що діють на рослинний організм під час росту та розвитку. Це складна система впливів, в яку людина втручається багатьма способами, виходячи зі своїх знань.

1.2. Застосування мінеральних добрив

Підживлення – це акт додавання хімічних речовин до живильного середовища рослин. Добрива – це речовини, які ми додаємо до живильного середовища рослин, що можуть покращити їхнє живлення, а отже, їхню врожайність та якість. Добрива є засобом підтримки балансу в циркуляції поживних речовин рослин. Без них гармонія та кількість постійно порушувалися б через втрату поживних речовин та інших цінних речовин.

Підживлення є однією з найважливіших агротехнічних операцій. Однак воно також є значним фактором, що впливає на якість навколишнього

середовища. Воно головним чином впливає на якість поверхневих та ґрунтових вод. Результатом є забруднення води, при якому залишкові частини N, P, K просочуються з ґрунту у воду та спричиняють надмірний ріст водоростей та водних рослин у водотоках.

Споживання мінеральних добрив зменшилося з року в рік (на 9,6%), калійних добрив – до 48,1% та фосфору – на 28,2%. Споживання поживних речовин на гектар сільськогосподарських угідь також зменшилося і досягло 57,6 кг.

74,3% орних земель було удобрено мінеральними добривами. У довгостроковій перспективі передбачається підживлення нижче рівня нормативної потреби для більшості культур (винятки становили картопля, інші коренеплоди, ріпак, соя, гірчиця, мак, бобові, цибулинні овочі, виноград, сади та дрібні фрукти). Довгостроковий дефіцит діючих поживних речовин NPK на удобреному ґрунті для всієї структури посівів зменшується з року в рік на користь азотних добрив, які в 3,8 раза дешевші за фосфорні та в 1,5 раза дешевші за калійні [13, 16].

Довгострокове недостатнє підживлення сільськогосподарських культур підтверджується попередніми результатами поточних агрохімічних досліджень ґрунту в Україні.

Найбільш значна негативна тенденція зафіксована для фосфору, де площа сільськогосподарських угідь з низькою категорією збільшилася на 12,1% за рахунок категорій з вищим вмістом. Для калію, завдяки його переробці, чи то у вигляді добрив, що постачаються, чи то шляхом заорювання побічних продуктів, зміни його вмісту не такі різкі, як у випадку з фосфором. Але й тут ми можемо спостерігати збільшення площі сільськогосподарських угідь з низьким вмістом на 2,4%. У разі більш значного використання побічних продуктів для енергетичних цілей або подальшого зниження виробництва тваринництва ця негативна тенденція може поглибитися [2].

Обмежувальним фактором, який суттєво впливає на родючість ґрунту, а також на екологічну стабільність аграрної території, є реакція ґрунту. Значна

частина території України підлягає так званому природному підкисленню. Більшість культур підходять для нейтральної або слабокислої реакції ґрунту.

Згідно з попередніми результатами агрохімічних досліджень ґрунтів у Словаччині, спостерігалось збільшення площі з несприятливими умовами вирощування на 5,7% порівняно з попереднім циклом (площа кислих ґрунтів збільшилася на 3,1%, а лужних – на 2,6%).

1.3. Класифікація та характеристика добрив

Добрива можна охарактеризувати як речовини, що містять поживні речовини для рослин, або ж їх можна визначити як речовини, що завдяки своїм фізичним, хімічним та біологічним властивостям покращують живлення рослин та підвищують родючість ґрунту [1].

Поділяють добрива за ефективністю:

- прями, забезпечують рослини необхідними для їхнього життя елементами;
- непрямі, не забезпечують рослини поживними речовинами, лише покращують умови живлення рослин шляхом модифікації ґрунтового середовища.

За походженням добрива поділяють:

- неорганічні або мінеральні, забезпечують рослини необхідною кількістю необхідних елементів;
- органічні, різні речовини рослинного та тваринного походження, збагачують ґрунт всіма поживними речовинами.

Класифікація добрив за станом:

- рідкі;
- тверді, за розміром частинок можна розділити на порошкоподібні та гранульовані.

Класифікація добрив за вмістом елементів:

- однокомпонентні;

- комбіновані.

Органічні добрива поділяються на :

- гній,
- компост,
- рідкий гній,
- гноївка.

1.4. Технології удобрення мінеральними добривами

Звичайна технологія удобрення

Рівномірною дозою добрив вноситься на всю ділянку, при цьому ґрунт та топографічні умови всієї площі ділянки не враховуються.

Для визначення дози внесення добрив випадкові проби відбираються з усієї площі ділянки, змішуються, а потім визначається середня доза добрив. Це створює складену суміш зразків, яка далі аналізується. На основі аналізу визначається рівномірна доза азотних, фосфорних або калійних добрив. Потім доза вноситься на всю площу ділянки різними формами розкидання. Основним недоліком цього методу є можлива неефективність через надмірне удобрення ділянок з вищим вмістом поживних речовин.

Технологія диференційного підживлення

На відміну від звичайного, варіативне підживлення дозволяє точно розподілити внесені добрива на окремих ділянках поля, щоб належним чином використовувати продуктивну активність ґрунту [20].

Засоби живлення та захисту рослин є значною та дуже значною частиною фінансових витрат сільськогосподарських підприємств на створення рослинницької продукції. Для забезпечення високих врожаїв необхідно знати, як правильно та економно використовувати цю дорогу сировину з максимально можливою прибутковістю. Система, яка робить це можливим, – це просторове диференційоване внесення.

1.5. Характеристика обладнання для внесення твердих мінеральних добрив

Розкидальні механізми є найважливішою частиною машин, що забезпечують внесення мінеральних добрив. Їх правильне регулювання та конструкція впливають на саму якість розкидання мінеральних добрив [1, 17].

Робочий механізм розкидачів складається з механізму подачі, завданням якого є рівномірна подача матеріалу до розкидального механізму розкидача. Механізм подачі може бути утворений стрічковим або грабельним транспортером, або розвантажувальним диском. Його функцію також може виконувати регулювальний заслінковий клапан разом з контейнером для добрив у формі конічного бункера. У цьому випадку розмір дози регулюється відповідною комбінацією швидкості руху розкидача та кількості добрив, що подаються до розкидального механізму.

Розкидальний пристрій забезпечує розкидання добрив по поверхні землі.

Відомі принципи та типи розкидальних механізмів включають криловий, шнековий, їжачий та ланцюговий. Найбільш широко використовуваним є відцентровий дисковий розкидальний пристрій.

Дисковий розкидальний механізм використовується як для внесення добрив у ряди рослин як так званий підживлювальний пристрій, так і для суцільного внесення. В підживлюваному пристрої дно бункера утворене однією обертовою пластиною, але в інших розкидачах є більша кількість пластин. Пластини вивантажують добрива через регульовану щілину з бункера, а пропелери, встановлені за бункером на загальному валу, зачерпують добрива з пластин і розподіляють їх по полю. Колова швидкість дисків становить $5-30 \text{ мм/с}^{-1}$, а колова швидкість розподільчих пропелерів — $2-2,5 \text{ м/с}^{-1}$.

Відцентровий дисковий розкидальний механізм є найбільш поширеним, як через свою простоту, так і тому, що він не впливає на форму бункера. Для

бункерно-підмітальних механізмів потрібен довгий бункер – за всією шириною розкиду, перпендикулярно до напрямку руху, що робить всю машину менш маневреною та непридатною для транспортування під час руху по дорогах.

Відцентрові розкидачі мають вузький бункер прямокутної форми, орієнтований довшою стороною у напрямку руху. Добрива виносяться з бункера на диск конвеєром (самохідні та причіпні версії) або випадають через вихідний отвір у нижній частині бункера на диск, розташований під ним, під дією сили тяжіння (навісне виконання). Диск (рис. 1а) оснащений від 2 до 4 лопатей різної форми та довжини.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд розкидального диска (а) та відцентрового розкидача (б)

Лопаті (рис. 1а) є змінними, а їх нахил можна регулювати. Добрива розкидаються назад і в сторони. За диском доза найбільша, тому окремі розкиди повинні перекриватися. Окружна швидкість диска становить 10-25 м/с, а діаметр диска зазвичай становить 0,4 - 0,6 м. Потужніші розкидачі мають два розкидальні диски, розміщені поруч один з одним. Деякі розкидачі мають 2 протилежні диски, розміщені один над одним [24, 25].

Розкидачі з вертикальним диском мають дефлекторні пластини, які забезпечують рівномірне розкидання на більшу ширину, але вони більше не використовуються.



Рисунок 1.2 – Відцентровий розкидач мінеральних добрив Amazone

Пневматичний механізм розкидання використовує шнековий або роликівий механізм для дозування добрив з бака (рис. 1.2). Ця точно визначена кількість добрив потрапляє в трубу з потоком повітря, що створюється вентилятором.

Потік повітря переносить частинки добрив і служить головним чином для транспортування добрив до розкидачів та його розсіювання по землі. За дозуючим пристроєм потік повітря розділяється на кілька труб, які закінчуються на рамі внесення кінцевими частинами – розкидачами, і добриво розсіюється по навколишній площі.

Основна функціональна частина відцентрових розкидачів мінеральних добрив (рис. 1.3) складається з одного або двох обертових дисків, на яких встановлені дві або більше лопатей. Радіус дисків зазвичай коливається від 0,3 м до 0,45 м. Розкидач має резервуар для добрив, у більшості випадків конічної форми. У його нижній частині розташований дозуючий пристрій, основна функція якого полягає в підтримці необхідного потоку добрив, що надходять на диск. Розмір потоку добрив визначає значення дози внесення мінеральних добрив.

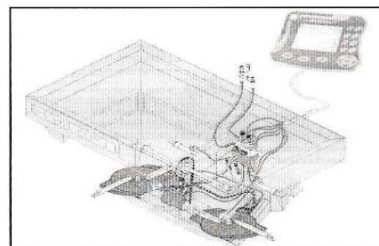
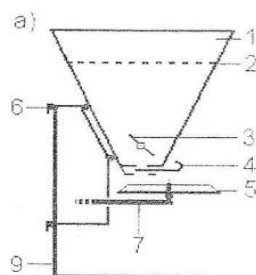


Рисунок 1.3 – Основні частини відцентрового дискового розкидача

Розкидач Amazone з пристроєм для автоматичної зміни дози під час внесення показано на рис. 1.4. Доза регулюється або вручну за допомогою важеля зі зазначеною шкалою. В системах зі змінним дозуванням розмір цього отвору регулюється автоматично за допомогою блоку керування, який подає необхідні сигнали до виконавчих приводів (електродвигун, гідродвигун), які потім регулюють розмір випускних отворів до необхідного розміру. У більшості випадків кількість добрив, що подається, регулюється розміром поперечного перерізу отворів у дні бункера.

Всмоктувальний пристрій забезпечує плавну подачу добрив до дозуючих отворів.

Після того, як добриво потрапляє на обертовий диск ($n=540$ об/хв або $n=1000$ об/хв), воно переноситься лопатями та переміщується відцентровою силою від центру диска до його краю, де воно залишає диск і потрапляє на поверхню поля. Добриво може досягати швидкості від 15 м/с до 70 м/с на виході з диска.

Використовують також відцентрові розкидачі мінеральних добрив з поворотною форсункою (рис. 1.4). Речовина для внесення подається в розкидальний кінець – форсунку під дією сили тяжіння з резервуара. Форсунка розташована горизонтально та здійснює поворотний рух навколо вертикальної осі. Під час роботи добриво просувається через дозуючий пристрій через регульований отвір і розподіляється відцентровою силою у вигляді схеми, що імітує ручне розкидання. Використовуючи різну довжину розкидальних кінців, можна досягти різної ширини дії розкидання. Система має відносно низьке значення коефіцієнта варіації поперечної рівномірності розкидання.

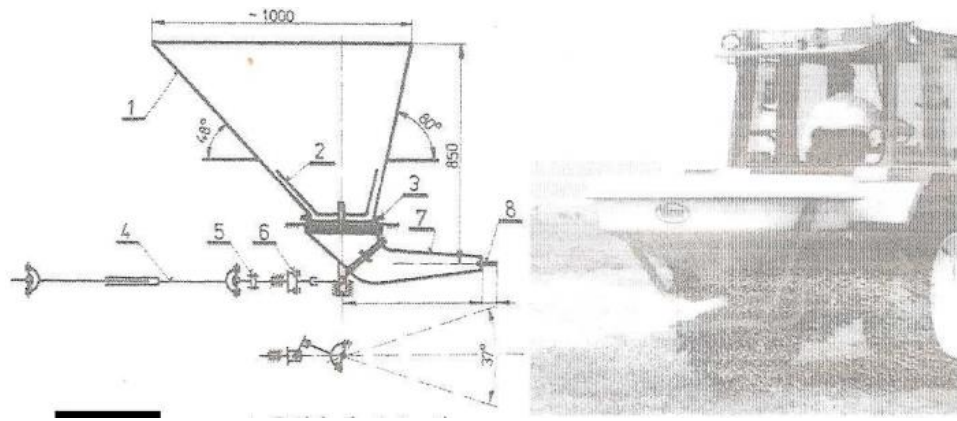


Рисунок 1.4 – Основні частини розкидача з поворотним розкидальним пристроєм

1. 6. Пневматичні промислові розкидачі добрив

Добриво з резервуара подається в потік повітря за допомогою дозуючих роликів до отвору інжектора (рис 1.5). Дозуючі ролики приводяться в рух гідравлічними двигунами. Дозуючі ролики розділені на окремі секції, які можна активувати в певному порядку. Таке рішення дозволяє вимикати окремі секції, що забезпечує належне удобрення країв землі. Багато виробників

допускають технічні рішення своїх машин для заміни цих дозуючих роликів для внесення мікрогранул або висіву дрібного насіння трав.

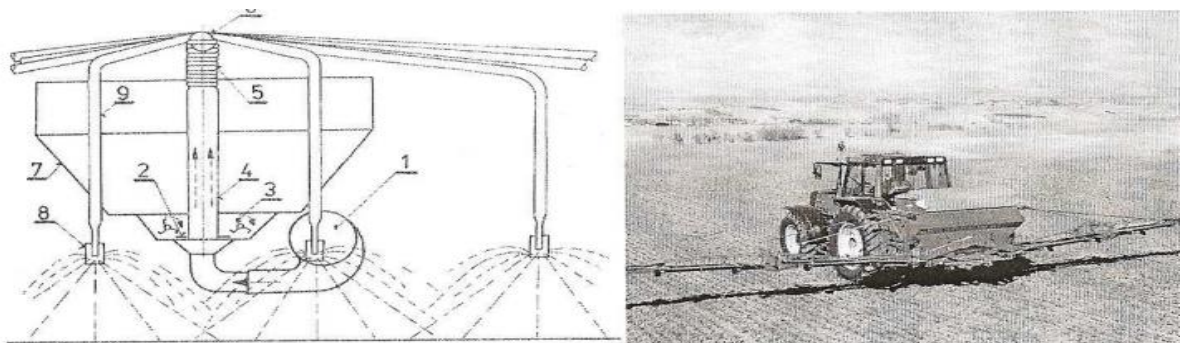


Рисунок 1.5 – Пневматичний розкидач промислових добрив Kuhn AERO 2218 та його основні частини

1.7. Тенденції в технології внесення добрив

Технологія роботи з промисловими розкидачами добрив не висуває великих вимог до оператора. Вони приводяться в рух човниковим способом (рис. 1.6). При роботі з відцентровими розкидачами необхідне певне

перекриття внесення для досягнення необхідної поперечної рівномірності. Нерівномірність не повинна перевищувати 20% (STN EN 13739-1).

При внесенні мінеральних добрив потрібне точне з'єднання окремих смуг для забезпечення рівномірності дози внесення. У розкидачів добрив старіших конструкцій через нижчі вимоги до точності дозування оператор оцінює лише перекриття смуг, а проходи знаходяться на розрахунковій відстані від попередніх. Для сучасних розкидачів концентрованих мінеральних добрив такої оцінки вже недостатньо, оскільки більше перекриття, а отже, і надмірне внесення добрив є причиною пошкодження рослинності і загрожує навколишньому середовищу [1, 3].

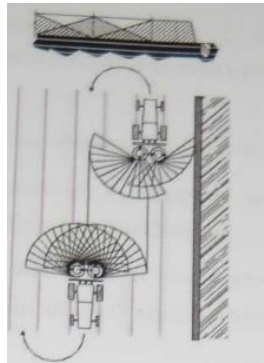


Рисунок 1.6 – Спосіб човникового способу руху під час внесення добрив відцентровим розкидачем

Для точного орієнтування оператором обприскувача на земельній ділянці під час внесення мінеральних добрив використовується система колійних ліній. Це фактично пропущені місця під час сівби у вигляді колій, які знаходяться на точно визначеній відстані одна від одної. Відстань відповідає проектній ширині машини, що використовується для внесення добрив у господарстві. Потім оператор веде розкидач по коліях, що були створені внаслідок пропуску під час сівби, і таким чином точно забезпечується зв'язок на кінцях ширини при проході розкидача.

Якщо земельна ділянка знаходиться недалеко від складу, добрива можна транспортувати на поле безпосередньо в бункері розкидача. На більшій відстані це не вигідно, оскільки продуктивність розкидача значно знижується.

Під час переміщення добрив з транспортного засобу на поле необхідно звертати увагу на втрати, оскільки зерно ляже на переудобрену ділянку, і добрива не досягнуть інших ділянок. Також існує ризик забруднення навколишнього середовища, забруднення ґрунтових вод та забруднення ґрунту від високих доз промислових добрив.

Під час удобрення мінеральними добривами необхідно дотримуватися таких екологічних вимог та принципів належної сільськогосподарської практики:

- не вносити добрива по замерзлому та вкритому снігом ґрунті або на голому ґрунті, без можливості швидкого закріплення в ґрунті;
- перед посівом використовувати зменшені дози азоту та додаткові дози азоту протягом вегетаційного періоду;
- бажано використовувати гранульовані добрива з відповідним співвідношенням поживних речовин, особливо гранульоване багатокomпонентне добриво з певним вмістом азоту;
- під час внесення звертати більше уваги на рівномірне дозування та розподіл добрив;
- у тепліших регіонах використовувати проміжні культури для підживлення або сидерати для винесення мінерального азоту з ґрунту;
- сіяти однорічні бобові та вику без стартової дози азоту та без додаткового удобрення, але дотримуватися принципу бактеризації насіння інокулянтом Rhizobin.

Правильно використані мінеральні добрива відображаються не лише на підвищенні врожайності, але й у гарній якості та більшій стійкості продукції під час зберігання, невиляганні рослин, вищій стійкості культур до хвороб і шкідників і несприятливих погодних умов (наприклад, посухи), а також кращому захисті навколишнього середовища (сильніше перезволоження ґрунтового профілю). Неправильне, недоречне або навіть погане використання мінеральних добрив не приносить користі ні рослинам, ні ґрунту, а отже, ні людині. Забезпечення культурних рослин оптимальною кількістю поживних

речовин неможливе без цілеспрямованого використання мінеральних добрив. При їх застосуванні, звичайно, потрібно бути обережним, щоб вони не стали джерелом загрози для навколишнього середовища та харчового ланцюга.

Збільшення сільськогосподарського виробництва у розвинених країнах екстенсивними методами неможливе, тоді як у країнах, що розвиваються, є резерви, оскільки потенційне використання земель становить приблизно 40%. Світовий досвід використання промислових добрив показує, що окремі факти їх негативного впливу на довкілля пов'язані, перш за все, з помилками в їх використанні. Основними критеріями тому будуть не лише агрохімічна ефективність добрив та економічність удобрення, а й екологічні та санітарні аспекти.

Окремі вимоги ставляться до внесення мінеральних добрив і точному землеробстві.

Теорія точного землеробства стверджує, що певні частини поля з різними властивостями ґрунту повинні оброблятися по-різному, щоб досягти оптимальної врожайності з мінімальними питомими дозами добрив та пестицидів. Основою є правильна ідентифікація цих ділянок та визначення потреб у внесенні добрив. Економія досягається лише тоді, коли правильно визначена питома доза азоту та точно визначена площа, на яку вносяться добрива.

Карти врожайності, створені відносно дешево під час збору врожаю попередньої культури, пропонують ідентифікацію проблемних ділянок найбільш економічним та ефективним способом.

Точне землеробство – це один із методів, за допомогою якого виявляються та аналізуються просторові та миттєві відхилення з метою оптимізації сільськогосподарського виробництва для досягнення високих стійких врожаїв. Воно базується на основній потребі – визначенні точного положення машини під час збору врожаю, внесення добрив або хімічного препарату для захисту рослин, до якого згодом пов'язується вся необхідна інформація. Всі ці операції вимагають надійно та безперервно визначеного

точного положення машини в полі. Для визначення положення використовується система супутникового позиціонування GPS. Спочатку система призначалася лише для військових цілей, але поступово її використання поширилося на багато секторів приватної сфери користувачів (автомобільний, морський та повітряний транспорт, сільське господарство, туризм тощо). Її точність дуже важлива, особливо в галузі сільського господарства, оскільки неточно визначене положення може призвести до внесення неправильної дози в неправильному місці.

Точне землеробство пропонує базовий підхід до певних сільськогосподарських проблем і допомагає вирішити:

- якість продукції та здоров'я споживачів;
- ефективність та економію виробництва;
- захист навколишнього середовища.

Без високоякісної технології внесення ми не можемо уявити собі добре удобрену землю. Зусилля виробників полягають у досягненні максимально точного дотримання конкретної дози мінеральних добрив відповідно до робочої швидкості та їх експлуатаційного налаштування і, відповідно до існуючих стандартів, у прагненні досягти максимально рівномірного поперечного профілю розкидання, зберігаючи при цьому робочу ширину.

Сучасні типи найпоширеніших відцентрових розкидачів твердих мінеральних добрив оснащені універсальними розкидальними дисками з легким регулюванням положення та довжини лопатей, включаючи їх торцеві виходи та можливістю регулювання точки висипання добрив на диски [11,12]. Частота обертання дисків знижена, щоб обмежити механічний вплив на гранули добрив. Додатково є тример (випрямляч) та датчики, що контролюють симетрію сектора розподілу, щоб покращити поперечну нерівномірність розподілу.

У системі точного землеробства використовуються дві системи диференційованого внесення промислових добрив, а саме онлайн та офлайн системи.

Офлайн система змінного удобрення працює на основі попередньо отриманої інформації про задану ділянку. Основна інформація включає: карту посівів, карту вологості ґрунту – провідність, забезпечення ґрунту поживними речовинами, ґрунулометричний склад ґрунту. З отриманих наборів інформації за допомогою програмного забезпечення обробляються карти внесення, на основі яких буде проводитися змінне внесення [23].

Для використання автономної системи також потрібна машина, яка дозволяє плавно регулювати дозу добрив, трактор з бортовим комп'ютером та супутниковою навігацією. У цьому випадку фермер повинен мати досконалі знання про потреби рослин та географічну інформаційну систему для створення карт удобрення. Тому йому краще скористатися послугами спеціалізованої компанії. Початковою інформацією, необхідною для визначення конкретної дози NPK є культура, яка буде вирощуватися на полі. Звичайно, необхідно враховувати попередню врожайність, рослинні залишки, кількість органічних добрив та властивості ґрунту. На основі цієї інформації буде визначено обсяг та співвідношення поживних речовин першої конкретної дози добрив. Інформацію про поле надасть карта врожайності або аналіз ґрунту та рослин.

Внесення добрив за допомогою онлайн-системи базується на принципі, що розмір відповідної дози добрива розраховується на основі інформації про культуру під час руху трактора. Це означає, що відбувається безперервне вимірювання, розрахунок та внесення дози добрив на основі поточного стану культури в заданому місці на земельній ділянці. Існують різні типи датчиків стану культури, які використовують або вимірювання щільності культури за допомогою сили, необхідної для згинання стебел - Сгор-метр (рис. 1.7), або вимірювання відбиття світла певної довжини хвилі від культури - гідро-N-сенсор.



Рисунок 1.7 – Лічильник врожаю у зібраному вигляді

Удобрення за даними Hydro N-сенсорів позитивно впливає не лише на врожайність, але й на рентабельність вирощування зернових культур. Точне удобрення підвищує ефективність використання азоту рослинами, зменшує його кількість у ґрунті, а отже, покращує стан навколишнього середовища. Також зменшує ризик вилягання зерна та досягає рівномірного дозрівання. Оптичні датчики надають бортовому комп'ютеру інформацію про вміст хлорофілу в рослинах, який обробляє її, визначає кількість азоту та коригує конкретну дозу добрив відповідно до потреб рослин. Пристрій Hydro N-сенсор працює за принципом оптичного зондування кольору врожаю, який змінюється залежно від вмісту хлорофілу в листках. Від датчиків на передній частині трактора сигнали по оптичних кабелях надходять до системи обробки даних у бортовому комп'ютері, яка перетворює їх на команди до клапанів розкидача згідно із заданою програмою, що контролює кількість внесених азотних добрив.

Удобрення посівів «швидким» азотом за допомогою заданої дозованої дози датчика Hydro N є частиною системи удобрення під назвою Hydro Precise.

Базове обладнання машин для внесення мінеральних добрив наразі розширюється за рахунок включення багатьох електронних пристроїв, що дозволяють контролювати рівень добрив у резервуарі, частоту обертання розкидальних механізмів тощо. Ці окремі інновації є результатом вирішення питань цілеспрямованого внесення у зв'язку з неоднорідністю місцевих умов

даної ділянки та в контексті точної локалізації положення машини, так званої диференціальної системи глобального позиціонування (DGPS). Таким чином, чітким зусиллям виробників обладнання для внесення є тенденція до досягнення максимально рівномірного розподілу добрив по ділянці та забезпечення контрольованого внесення добрив, яке оперативно адаптується до різних частин поля з різним потенціалом врожайності. Внесення добрив має відповідати вимогам рослин, враховуючи при цьому властивості використовуваних мінеральних добрив. Від розкидачів ми вимагаємо як точності внесення, так і їх універсальності, легкого та швидкого регулювання дози, а також легкого та швидкого очищення завантажувального простору. Добра маневреність та стійка до корозії конструкція частини, що контактує з добривами, також є частиною базової пропозиції виробників розкидачів.

Висновки за розділом

Удобрення – це робоча операція, за допомогою якої ми намагаємося забезпечити ґрунт відсутніми поживними речовинами і таким чином забезпечити відповідні умови для росту та розвитку вирощуваних культур. У наш час ми намагаємося вирощувати сільськогосподарські культури з високою продуктивністю. Це означає, що ми намагаємося збільшити врожайність з одиниці площі і таким чином покращити економічний ефект від даної культури.

Важливе значення в рамках вищезазначеного має відповідна техніка внесення, яка не завжди використовується правильно і тому ефективно.

В процесі забезпечення потреби сільськогосподарських посівів мінеральними добривами на перший план виходить оцінка якісних показників техніки внесення промислових добрив у відцентрових розкидачів.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ У ПОПЕРЕЧНІЙ ПЛОЩИНІ

2.1. Розрахунок ваги добрив у пропущених збірних лотках

Після розкидання машиною добрив їх кількість, зібраних у кожному лотку, необхідно зважити з точністю до сотої грама. Вагу добрив у пропущених рядах колії необхідно було розрахувати [11,19]. Оскільки обидва типи розкидачів працюють з різними поперечними профілями розкидання, також необхідно було адаптувати метод розрахунку ваги добрив у пропущених збірних стаканчиках відносно правого та лівого боків розкидача. Для відцентрового розкидача припускали трикутну поперечну схему та розраховували відповідні значення за рівняннями: 2.1, 2.2, 2.3, 2.4.



Рисунок 2.1 – Розташування збірних лотків під час вимірювання поперечної рівномірності розкидання відцентровим розкидачем

$$x_{23} = x_{22} + \left(\frac{x_{28} - x_{22}}{3} \right) \quad (2.1)$$

$$x_{24} = x_{25} - \left(\frac{x_{28} - x_{22}}{3} \right) \quad (2.2)$$

$$x_{26} = x_{25} - \left(\frac{x_{28} - x_{22}}{3} \right) \quad (2.3)$$

$$x_{27} = x_{28} + \left(\frac{x_{28} - x_{22}}{3} \right) \quad (2.4)$$

де $x_{23}, x_{24}, x_{26}, x_{27}$ – маса добрив у незбираних лотках, г;

x_{23}, x_{25}, x_{28} – вага добрив у сусідніх збірних лотках, г.

2.2. Розрахунок коефіцієнта варіації рівномірності розкидання мінеральних добрив

Оцінку рівномірності поперечного розкидання мінеральних добрив проводили шляхом порівняння досягнутих значень коефіцієнта варіації для кожного варіанта експерименту. При її розрахунку враховували, що агрегат рухається по полю човниковим способом. З відцентровим розкидачем права сторона поперечного профілю перекривалася з правою стороною, а ліва сторона – з лівою стороною діаграми (рис. 2.2), при цьому перекриття з трикутною діаграмою досягало 50% ширини розгортки (при розгортці машини 24 м це становило 12 метрів). При пневматичному розкиданні мінеральних добрив досягалася прямокутна (або трапецієподібна форма з дуже крутими звисами) поперечна діаграма профілю, тобто в човниковому режимі перекриття послідовні проходи не є необхідними.

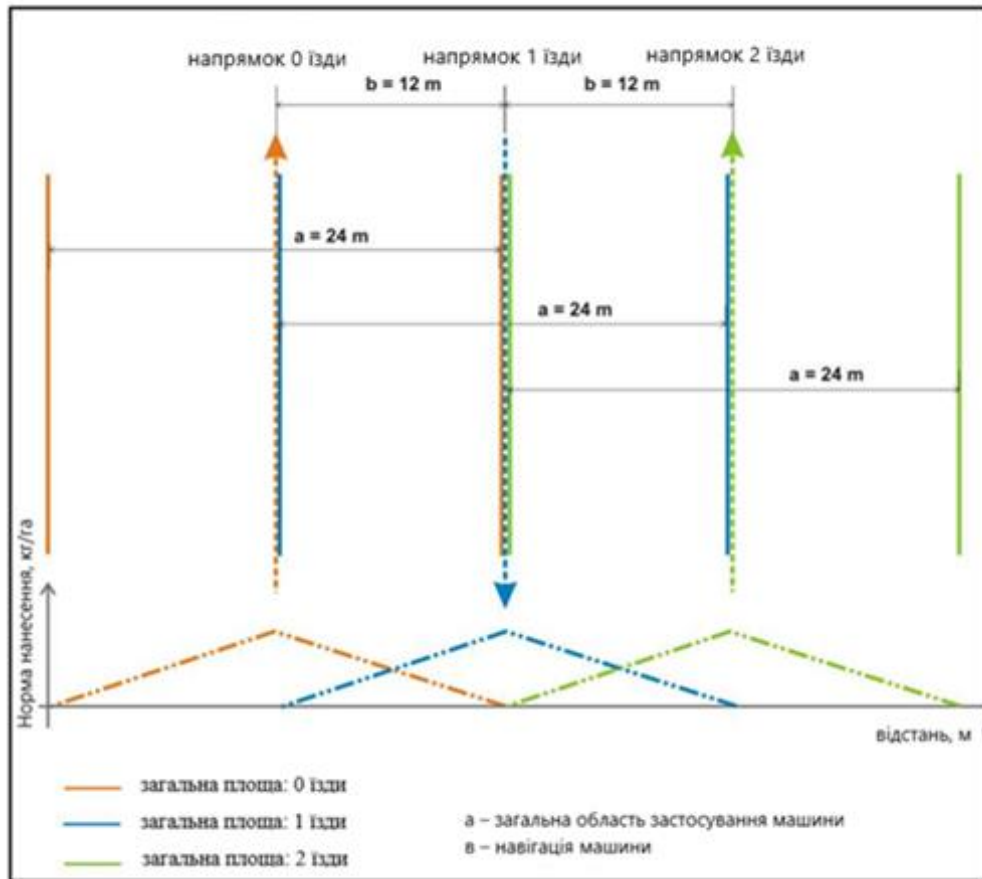


Рисунок 2.2 –Схема човникового руху та перекриття суміжних переїздів

Розрахунок коефіцієнта варіації згідно зі стандартом STN EN 13739-2:

$$V_K = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}} \cdot 100 ; \% \quad (2.5.)$$

де: V_K – коефіцієнт варіації, %;

x_i – кількість добрив, зібраних в i -му збірному лотку, г;

$\bar{x}$ – середня кількість добрив, зібраних в одному збірному лотку, г;

N – загальна кількість збірних лотків.

При цьому значення розраховується за наступним рівнянням

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i \frac{1}{N} \quad (2.6)$$

де x_i – кількість добрив, зібраних в i -му збірному лотку, г;
 N – кількість збірних лотків.

Висновки за розділом

1. Оцінку рівномірності поперечного розкидання мінеральних добрив проводили шляхом порівняння досягнутих значень коефіцієнта варіації для кожного варіанта експерименту. При її розрахунку враховували, що агрегат рухається по полю човниковим способом.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Об'єкт дослідження

Промисловий розкидач добрив KUHN AXERA MW належить до категорії дводискових з базовим об'ємом бункера 1100 літрів. Його конструкція модульна за своєю природою. Цей конкретний тип виконаний як навісний, з механічним приводом розкидальних дисків від валу відбору потужності трактора. Робоча ширина розкидача залежить від типу розкидальних дисків і становить від 10 до 36 м. Розкидальні диски кріпляться за допомогою швидкознімного пристрою, що дозволяє швидко збирати та розбирати їх, будь то під час заміни дисків, калібрування або під час видалення добрив після роботи.

Доза на гектар встановлюється розміром поперечного перерізу розвантажувального отвору, засувка якого, залежно від специфікації машини, може керуватися вручну - механічно або гідравлічно. Для забезпечення рівномірної подачі добрив до розкидальних дисків машина стандартно оснащена розпушувачем. Ця модель розкидача оснащена блоком керування Quantron M, який електронно контролює та встановлює необхідну норму внесення залежно від швидкості руху машини.



Рисунок 3.1 – Промисловий розкидач добрив KUHN AXERA MW

Технічні показники розкидача добрив KUHN AXERA MW наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Таблиця технічних даних розкидача KUHN AXERA

Модель	MDS 732/ 932	Axera M, H
Об'єм основного бака, літри	700/900	1100
Об'єм надбудови, літри	200/400/600/900	400/600/700/900
Макс. об'єм бака, літри	1600/1800	2900
Висота заповнення, м	0,93-1,27	0,99-1,51
Ширина заповнення, м	1,80-2,30	2,40-2,70
Робоча ширина, м	10-18/10-24	12-18/18-36
Частота обертання ВВП	540	540
Вага машини, кг	210-230	430-560

Вимоги до його належного функціонування вибраного типу розкидача.

Під час проведення польових експериментів, спрямованих на моніторинг впливу використаного добрива на якісні показники роботи розкидача, необхідно спиратися на стандарт STN EN 13739-1, який визначає вимоги до охорони навколишнього середовища при проектуванні та виробництві навісних, причіпних та самохідних розкидачів, а також аплікаторів твердих промислових добрив, що використовуються в сільському господарстві та садівництві.

Корекція дозування здійснюється за допомогою:

- відповідних калібрувальних пристроїв (наприклад, жолобів, ліній, колекторів) для регулювання дози;
- системи, яка автоматично контролює дозування (наприклад, датчик потоку добрив, контролер дозування).

Відхилення від бажаного значення дозування не повинно перевищувати граничних значень. Проте машина оснащена системою з ручним керуванням, що дозволяє змінювати дозування добрив, діапазон зміни повинен бути не

менше $\pm 20\%$ від бажаного дозування.

Машина буде налаштована на різну робочу ширину (наприклад, зменшену робочу ширину) та на розкидання вздовж краю поля.

Буде зосереджена увага питанню втрати добрив через їх випадання. Якщо дозатор закритий або привод дозатора відключений, буде контролюватися, чи добрива випадатимуть з машини під час транспортування.

Рівномірність внесення. Рівномірність поперечного розкидання промислового розкидача твердих добрив повинна бути такою, щоб розрахункове значення коефіцієнта варіації (CV) під час керування машиною з боку в бік не перевищувало 15% від значення, розрахованого відповідно до EN 13739-2: 2003. Ця вимога повинна виконуватися за всіх зазначених умов (таких як робоча ширина та тип добрив), крім розкидання на межах поля.

Регулювання дозування. Для добрив, перелічених у списку добрив в інструкції з експлуатації, дозування добрив слід регулювати в межах зазначеного максимального та мінімального дозування добрив [17, 21].

Максимально допустиме відхилення фактичного дозування від необхідного дозування повинно відповідати табл. 3.2 при вимірюванні відповідно до EN 13739-2: 2003.

Таблиця 3.2 – Максимально допустиме відхилення фактичного дозування розкидача від необхідного значення

Необхідне дозування	Максимально допустиме відхилення фактичного дозування від необхідного
кг/ хв ⁻¹	%
< 25	15
25 до 50	10
> 150	7,5

3.2. Польові вимірювання поперечної рівномірності внесення добрив

3.2.1. Методика та умови польових вимірювань

В процесі досліджень перевіряли вплив гранулометричного складу мінеральних добрив на якість поперечної рівномірності розкидання як на відцентрових, так і на пневматичних розкидачах, використовуючи одим і той самий метод.

Чаші для збору добрив були розміщені перпендикулярно до напрямку руху розкидача таким чином, щоб охоплювалася вся ширина покриття машини (для відцентрового розкидача це було 24 м, для пневматичного розкидача 18 м. Щоб трактор міг проїхати, з кожного боку осі руху було забрано дві чаші.



Рисунок 3.2 – Розташування збірних лотків

На початку кожного вимірювання машину налаштовували відповідно до рекомендацій виробника щодо конкретних властивостей випробуваного добрива. Потім перевіряли поперечну рівномірність з оригінальним (неушкодженим) зразком мінерального добрива з гранулометричним складом, заявленим виробником або імпортером відповідного добрива. Під час вимірювань було встановлено 3 різні дози добрив: 50, 150 та 300 кг/га. Градація цих індивідуальних значень була обрана на основі охоплення максимально можливого спектру дози внесення, з яким дозволяє працювати дана машина. Проте враховуючи конкретні умови експерименту та доступну кількість добрив, було обрано вищезгадані нижчі дози.

На рівномірність внесення також суттєво впливає робоча швидкість установки для внесення. З вищезазначених причин було використано дві

швидкості – 8 та 12 км/год. Ці значення були визначені на основі рекомендацій з інструкції з експлуатації машини.

Таким чином було створено шість різних варіантів експерименту. З цими налаштуваннями послідовно проводилися вимірювання двох фракцій, що залишилися (для сипких добрив це були фракції 1–2 мм, 2 мм і більше; для гранульованих добрив це були 2–4 мм та 4 мм і більше) для кожного виду добрив. Для досягнення високої достовірності результатів для кожного варіанту вимірювання хід розкидача (у робочому режимі з налаштуваннями, що відповідають даному варіанту) здійснювався у двох повторах. Машину для внесення запускали за 50 метрів перед лінією, утвореною чашами для збору добрив. Після проходження поперечної лінії розкидач продовжував працювати ще 50 метрів і лише після цього зупинявся.

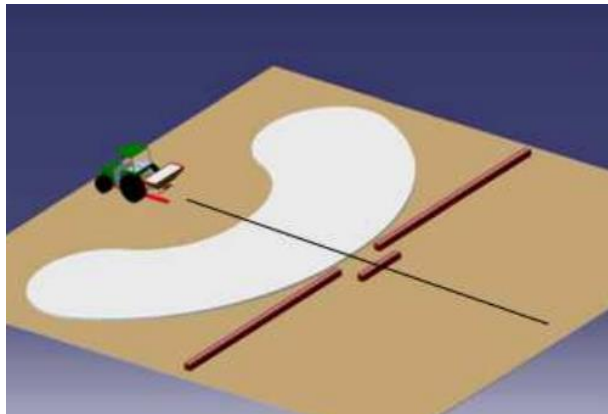


Рисунок 3.3 – Схема вимірювання поперечної рівномірності розкидання

Для проїзду трактора по ряду розкидальних лотків необхідно було залишити простір для коліс трактора. Ширина цього зазору могла бути лише цілим числом, кратним ширині використовуваного збірного лотка, згідно з рекомендацією стандарту. У нашому випадку вибрали ширину $1 \text{ м} = 2 \times$ ширина збірного лотка для кожного колеса. Між колесами трактора був простір для одного лотка, який розміщувався по осі руху робочого агрегату.

Основні вимоги, які ставляться до умов внесення мінеральних добрив, можна охарактеризувати такими пунктами:

- заповнення основного об'єму резервуара розкидача в діапазоні від 10% до 80%;

- швидкість вітру під час вимірювань не повинна перевищувати 2 м/с (7,2 км/год);
- вологість повітря макс. 65%, а температура повітря повинна бути в діапазоні від 10 до 25°C;
- розміри дна збірних стаканчиків повинні бути 500 мм x 500 мм;
- необхідно дотримуватися допуску відхилення від необхідної швидкості руху під час випробування (4 км/год $\pm$ 0 км/год; 8 км/год $\pm$ 0,4 км/год; 10 км/год $\pm$ 0,5 км/год; 12 км/год $\pm$ 0,6 км/год).

Серед факторів, що найбільше впливають на якість роботи розкидача, є вітер. Під час випробувань швидкість вітру не перевищувала 2м/с. Для перевірки цього фактора, а також для досягнення правильного порівняння окремих результатів використовувався анемометр Testovent 4000 (рис. 3.4) з діапазоном вимірювання від 0,4 до 40 м/с. Окрім швидкості вітру, цей прилад також дозволяв вимірювати температуру та відносну вологість повітря. У всіх вимірюваннях були дотримані всі умови для підтримки максимальних значень швидкості вітру, відносної вологості та температури повітря.

Для уловлювання добрив під час вимірювання поперечної рівномірності розкидання використовувалися збірні чашки з блокувальними вставками. Їхні технічні параметри відповідають стандарту ISO 5690/2.



Рисунок 3.5 – Цифровий анемометр Testovent 4000

3.2.2. Методика лабораторних вимірювань властивостей мінеральних добрив

Оцінка гранулометричного складу вибраних добрив проводилась за

допомогою просіювального аналізу на просіювальній машині FRITSCH (рис. 3.6). При цьому використовувався весь комплект сит, завдяки яких було отримати детальну інформацію про гранулярність добрива. Просіювання буде здійснюватися за допомогою просіювальних машин з електромагнітним приводом, який створює 3D-коливальний рух і викликає коливання пружинної системи, тобто нерухомі сита рухаються вертикально з горизонтальним ефектом. Цей 3D-ефект забезпечує оптимальний рух сита та покриття всієї поверхні сита просіюваним матеріалом.



Рисунок 3.6 – Просіювальна машина для визначення гранулометричного складу мінеральних добрив

Як альтернативний метод визначення гранулометричного складу було випробувано комп'ютерний аналіз зображень. У цьому методі модифіковані двоколірні фотографії (зроблені цифровою камерою Olympus C3000ZOOM) гранул мінеральних добрив будуть оцінені за допомогою програмного продукту "IMPOR". Програма оцінить діаметр гранул у двох координатах (x та y). Метою буде порівняння точності окремих методів та можливості їх використання на практиці.

Висновки за розділом

Наведені методики оцінки якості внесення розкидачами мінеральних добрив та проведення вимірювання фізико-механічних властивостей мінеральних добрив у лабораторних умовах дозволяють у польових умовах оцінити рівномірність внесення розкидачем мінеральних добрив.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Результати лабораторних вимірювань фізико-механічних властивостей мінеральних добрив

Основною метою цього завдання було визначити вплив гранулометричного складу окремих видів прилипаючих та гранульованих промислових добрив на якість роботи відцентрового розкидача під час внесення промислових добрив, шляхом порівняння коефіцієнтів варіації профільних картин поперечної рівномірності розкидання.

За отриманими результатами було порівняно якість роботи обох випробуваних типів розкидачів для різних видів та фракцій випробуваних добрив. Метою завдання також було вказати гранулометричні фракції добрив, за яких досягається найкраща поперечна рівномірність внесення, особливо для машини з відцентровим принципом роботи.

Для досягнення поставленої мети діяли згідно з методикою. У вимірюваннях використовували два види промислових добрив: аміачну селітру гранульовану та нітроамофоску у гранульованій формі. Особливістю експерименту було те, що добриво попередньо сортували на окремі фракції за розміром у достатній кількості, а якість розкидання контролювали окремо для кожної групи розмірів частинок за швидкостей 8 та 12 км/год-1 та за доз добрив 50, 150 та 300 кг/га-1. Точний гранулометричний склад обох випробуваних добрив аналізували на просіювальному пристрої Fritsch згідно з методикою, наведеною в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Гранулометричний склад випробуваних добрив

Вид добрива	Відсоток частинок за розміром, %				
	0-1 мм	1-2 мм	2-4 мм	4-5 мм	➤ 5 мм
Нітроамофоска	0,1	0,2	66,3	31,1	2,3
Аміачна селітра	1,9	52,6	45,5	0	0

Результати цього аналізу показали, що добриво нітроамофоска

відповідає заявленому виробником складу. Однак в аміачній селітрі фракція 0-1 мм містила на 1,88% (за вагою) більше частинок, ніж заявлено виробником.

Цей точний аналіз гранулометричного складу також був проведений для визначення фракцій тестованих добрив під час випробування на поперечну однорідність. Оскільки ми мали обмежену кількість цих добрив, для достатнього заповнення бункера розкидача під час випробування необхідно було вибрати такі граничні інтервали, за яких ми отримували достатню кількість добрив з кожної вибраної фракції.

4.2 Результати оцінки рівномірності внесення розкидачем мінеральних добрив у польових умовах

Вимірювання поперечної однорідності ми провели на відцентровому розкидачі мінеральних добрив Rauch AXIS 30.1 (рис. 4.1). З вимірних значень та доданої ваги добрив у пропущених лотках, значення коефіцієнта варіації згодом розраховувалися згідно з рівнянням 2.1 для окремих варіантів експерименту.



Рисунок 4.1 – Розкидач мінеральних добрив Rauch AXIS 30.1

У таблиці (табл. 4.2) наведено отримані значення коефіцієнтів варіації для внесення відцентровими розкидачами, які відображають якість поперечного розкидання. Оскільки цей тип розкидача досяг трикутної форми поперечного профілю, при розрахунку коефіцієнта варіації ми розглядали метод човникового руху, при якому відбувається 50% перекриття сусідніх проходів.

Таблиця 4.2 – Поперечна рівномірність застосування відцентрового розкидача для різних варіантів, виражена коефіцієнтом варіації

Фракція добрив	Швидкість км/год	Норма внесення, кг/га	Нітроамофоска	Фракція добрив	Швидкість км/год	Норма внесення, кг/га	Аміачна селітра
			Коефіцієнт кореляції, V _к , %				Коефіцієнт кореляції, V _к , %
Оригінальна	8	50	9,6	Оригінальна	8	50	14,6
		150	8,4			150	9,3
		300	9,5			300	13,2
	12	50	8,7		12	50	16,9
		150	7,7			150	13,7
		300	9,8			300	14,8
середнє значення			8,95	середнє значення			13,75
2-4 мм	8	50	7,8	2-4 мм	8	50	19,3
		150	8,9			150	16,6
		300	8,1			300	19,7
	12	50	8,5		12	50	22,3
		150	9,2			150	17,7
		300	8,7			300	18,9
середнє значення			8,53	середнє значення			19,08
4 і більше мм	8	50	12,1	4 і більше мм	8	50	12,1
		150	9,7			150	8,9
		300	10,2			300	11,2
	12	50	11,7		12	50	10,7
		150	9,5			150	8,6
		300	12,4			300	13,4
середнє значення			10,93	середнє значення			10,82

Для більш наочного вираження результатів ми обрали графічне зображення залежності коефіцієнта варіації для окремих гранулометричних

фракцій випробуваних добрив та використаних налаштувань розкидача. З рис. 4.2 та 4.3 можна робити висновки про якість внесення відцентровим розкидачем на швидкостях 8 та 12 км/год при розкиданні трьох фракцій гранульованого добрива нітроамофоска.

Під час оцінки результатів для цього типу розкидача було підтверджено залежність якості поперечного профілю розкидання та розміру частинок гранулометричного складу добрива. У випробуваннях найкращі середні результати були отримані для фракції 2-4 мм за обох робочих швидкостей. Фракція з більшими частинками (4 і більше мм) збільшувала коефіцієнт варіації на 1-3% порівняно з добривом з вихідним гранулометричним складом.

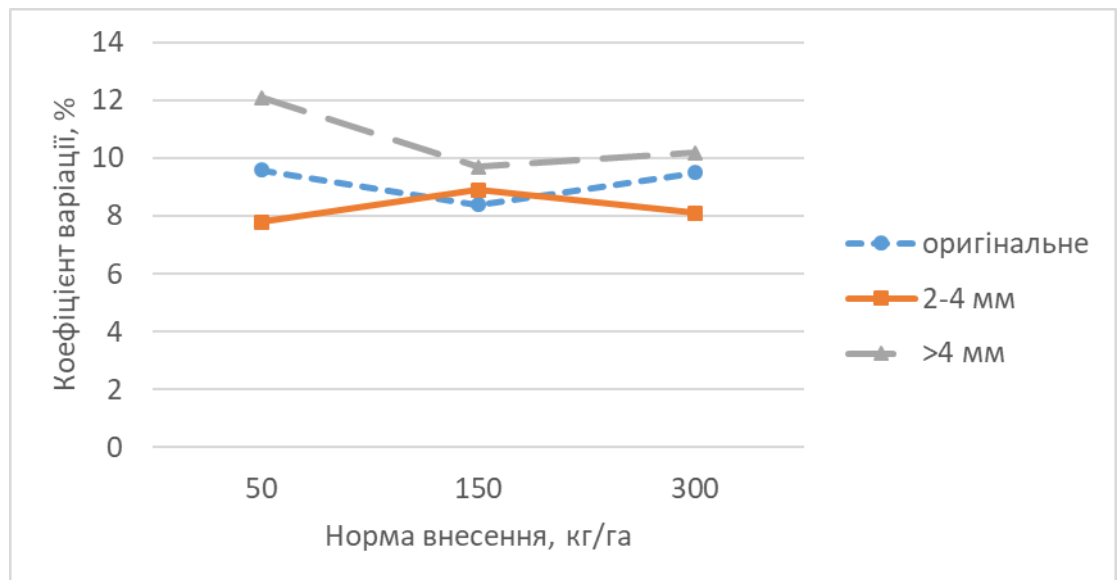


Рисунок 4.1 – Поперечна рівномірність внесення нітроамофоски відцентровим розкидачем зі швидкістю 8 км/год

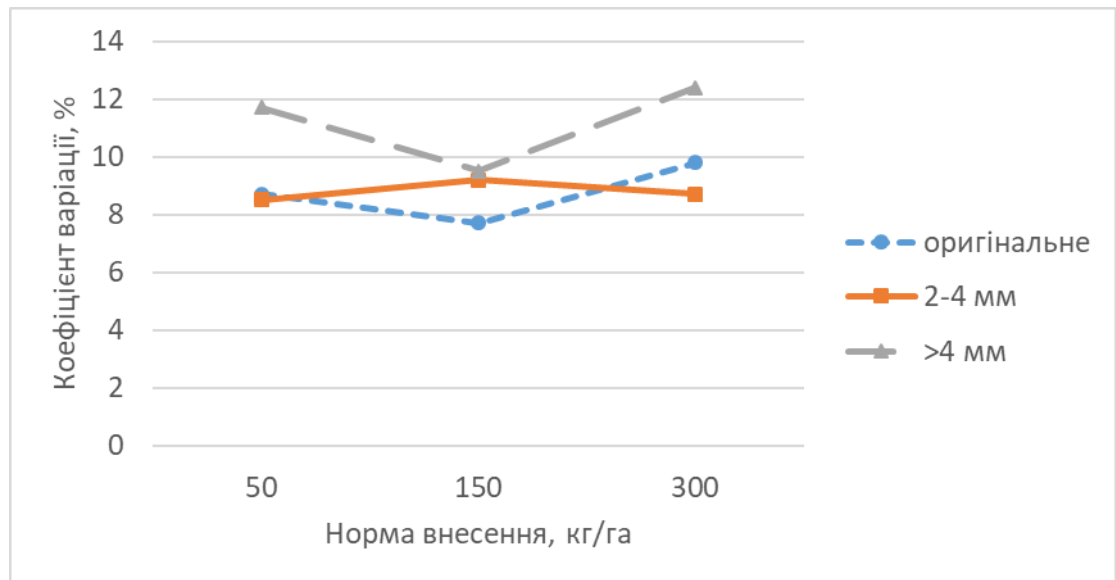


Рисунок 4.2 – Поперечна рівномірність внесення нітроамофоски відцентровим розкидачем зі швидкістю 12 км/год

З додаванням добрива аміачної селітри (рис. 4.3, 4.4) якість роботи розкидача перевірялася з нижчими фракціями добрив, що відповідали його гранулометричному складу. Стандартом встановлено максимально допустиме значення коефіцієнта варіації 15% при внесенні в польових умовах. Однак це значення було перевищено для фракцій 1 – 2 мм у всіх варіантах вимірювання.

Вища фракція 2 мм і більше копіювала досягнуті значення коефіцієнта варіації вихідного гранулометричного складу добрива аміачної селітри. При дозах 50 та 150 кг/га навіть відзначалося покращення поперечного профілю, що відобразилося у зменшенні коефіцієнта варіації на 5–7%.

З вищесказаного можна зробити висновок, що фракція 1-2 мм спричиняє надмірне зниження якості поперечної картини розкидання випробуваним відцентровим розкидачем.

Певна невелика частка цієї фракції в добривах може сприяти збільшенню піку трикутної поперечної картини, але у більшій частці вона спричиняє недотримання максимально допустимого значення коефіцієнта варіації.

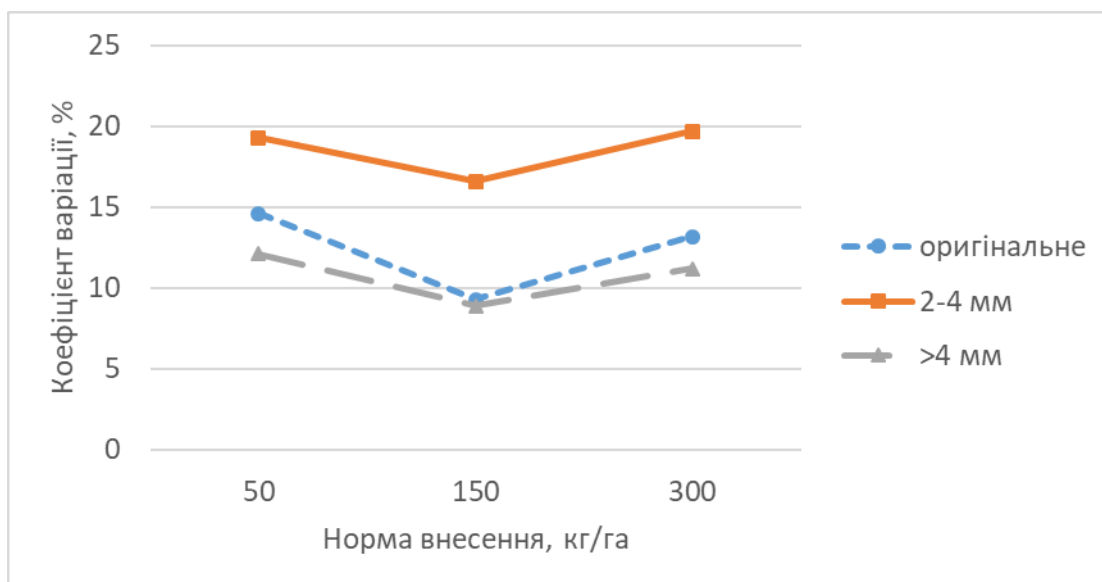


Рисунок 4.3 – Поперечна рівномірність внесення аміачної селітри відцентровим розкидачем зі швидкістю 8 км/год

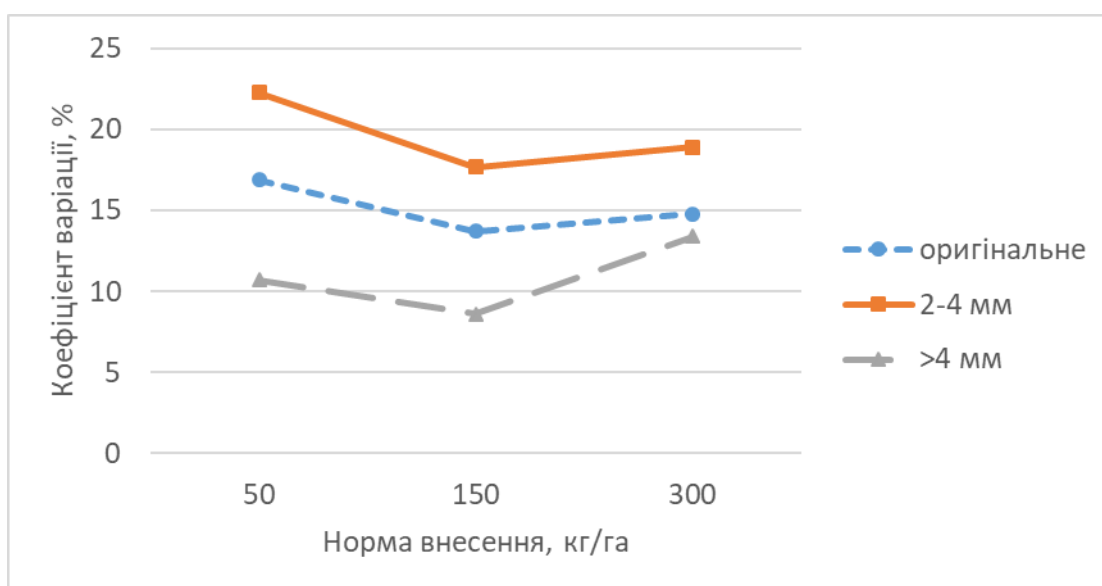


Рисунок 4.4 – Поперечна рівномірність внесення аміачної селітри відцентровим розкидачем зі швидкістю 12 км/год

При оцінці якості роботи відцентрових розкидачів з точки зору гранулометричного складу внесених добрив, отримані результати можна зіставити з ідентичним твердженням Паулена (1999). Тут стверджується, що для збільшення ефективної робочої ширини відцентрових розкидачів для якісного внесення мінеральних добрив необхідно, щоб добриво містило максимально можливий відсоток частинок (понад 90%) у діапазоні від 2,0 до 4,0 мм. Він також

стверджує, що частинки діаметром менше 1,5 мм не підходять для всіх типів відцентрових розкидачів, оскільки у випробуваннях на рівномірність внесення ця частка досягала половини ефективної робочої ширини. З цієї причини можна зробити висновок, що розмір частинок менше 1,5 мм обмежує робочу ширину машини і, таким чином, продуктивність розкидача. Також стверджується, що під час внесення добрив з малим діаметром частинок ($< 1,5$ мм) вітер (зі швидкістю 2 м/с) призводить до винесення цієї частки добрив, що знижує рівномірність внесення. Тому поперечний профіль нерівномірний і зміщений в один бік.

Висновки за розділом

Під час оцінки результатів відцентрового розкидача мінеральних добрив було підтверджено залежність якості поперечного профілю розкидання від розміру частинок гранулометричного складу нітроамофоски. У випробуваннях найкращі середні результати були отримані для фракції 2-4 мм за обох робочих швидкостей – 8 і 12 км/год.

Стосовно якості внесення аміачної селітри, то можна стверджувати, що фракція 1-2 мм спричиняє надмірне зниження якості поперечної картини розкидання випробуваним відцентровим розкидачем. Вища фракція 2 мм і більше копіювала досягнуті значення коефіцієнта варіації вихідного гранулометричного складу добрива аміачної селітри. При дозах 50 та 150 кг/га навіть відзначалося покращення поперечного профілю, що відобразилося у зменшенні коефіцієнта варіації на 5–7%.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Загальні положення

До роботи з пестицидами і мінеральними добривами допускаються особи, які не мають медичних протипоказань і пройшли медичний огляд (під час влаштування на роботу та періодично під час роботи); до роботи з пестицидами і мінеральними добривами не допускаються жінки віком до 18 років, жінки віком до 35 років (умовно дітородного віку), вагітні жінки та жінки, які годують груддю. Пестициди та мінеральні добрива зберігаються в окремих будівлях (пестициди - на складі з санітарним паспортом, який вони мають право отримати). Хімічні кормові консерванти, кормові добавки, лакофарбові матеріали та харчові продукти не можна зберігати разом. Склади будуються тільки за типовими проектами. Склади не повинні мати горищ і повинні бути побудовані з негорючих матеріалів з межею вогнестійкості 2 або менше, тобто негорючими. Підлоги повинні бути стійкими до дії кислот і лугів і бути вище сусідніх приміщень на 20 см. Двері повинні відчинятися назовні, бути оббиті сталлю, замикатися на ключ і мати напис "не курити" та "вогнебезпечно" на зовнішній стороні.

5.2. Заходи безпеки, необхідні перед початком роботи

1. Перевірити наявність, придатність і комплектність засобів індивідуального захисту для виконання технічних завдань, описаних у дозволі на роботу, таких як пилозахисний одяг, гумові рукавички, захисні окуляри та гумові чоботи.

2. Обладнання для внесення добрив у ґрунт має бути оснащено баком для води ємністю не менше 10 літрів

3. У кабіні тракториста повинен перебувати тільки один тракторист, щоб у разі небезпеки він міг безперешкодно покинути кабінку.

4. Переконавшись, що первинні засоби пожежогасіння наявні і

знаходяться в спеціально підготовленому для цього місці

5. перевірити наявність витоків палива, мастила та охолоджувальної рідини, а також витоків вихлопних газів на вихлопних і впускних трубах та на з'єднаннях блока двигуна.

5.3. Вимоги безпеки під час виконання робіт

1. Одягайте рукавички, захисні окуляри та протипилову маску і стійте проти вітру під час заповнення контейнера (бункера) машини мінеральними добривами. Щоб уникнути ручного очищення сівалки, не заповнюйте контейнер (бункер) сівалки не просіяним вологим добривом.

2. У разі незначної несправності під час роботи машини/устаткування зупиніться і виконуйте ремонт у засобах індивідуального захисту; у разі серйозної несправності спорожніть та нейтралізуйте добрива з машини/устаткування і доставте її в пункт ремонту. Після ремонту проведіть випробування в робочому режимі.

3. Під час роботи дотримуйтесь правил особистої гігієни та не проливайте технологічні рідини, паливо або масло на одяг, взуття, відкриті частини тіла або на землю.

4. Під час проходження поворотів, на слизькій дорозі, на схилах тощо швидкість трактора обирається відповідно до ваги, габаритів та інерційних ефектів навісного обладнання.

5. Якщо для внесення добрив і пестицидів одночасно використовується кілька машин, відстань між ними має становити не менше 50 м.

5.4. Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм

Для висвітлення можливих небезпек та факторів, які призводять до небезпечної ситуації (травми, нещасного випадку тощо), проводять моделювання процесу виникнення небезпечної ситуації та її наслідків.

Для прикладу виконаємо моделювання процесу виникнення небезпечної

ситуації (травми або нещасного випадку) під час виконання операції внесення мінеральних добрив відцентровими розкидачами. Для цього побудуємо логіко-емітаційну модель процесу виникнення травми у працюючого при завантаженні добрив (рис. 4.1).

Ймовірність виникнення вихідної події P_{24} визначаємо з наступних математичних виразів:

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1P_2 - P_1P_3 - P_2P_3 + P_1P_2P_3 = \\ = 0,3 + 0,04 + 0,3 - 0,3 \cdot 0,4 - 0,3 \cdot 0,3 - 0,4 \cdot 0,3 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 0,3 = 0,706$$

$$P_8 = P_5 + P_6 + P_7 - P_5P_6 - P_5P_7 - P_6P_7 + P_5P_6P_7 = \\ = 0,3 + 0,05 + 0,3 - 0,3 \cdot 0,5 - 0,3 \cdot 0,3 - 0,5 \cdot 0,3 + 0,3 \cdot 0,5 \cdot 0,3 = 0,755$$

$$P_{12} = P_9 + P_{10} + P_{11} - P_9P_{10} - P_9P_{11} - P_{10}P_{11} + P_9P_{10}P_{11} = \\ = 0,4 + 0,03 + 0,3 - 0,4 \cdot 0,3 - 0,4 \cdot 0,3 - 0,3 \cdot 0,3 + 0,4 \cdot 0,3 \cdot 0,3 = 0,706$$

$$P_{13} = P_4P_8P_{12} = 0,706 \cdot 0,755 \cdot 0,706 = 0,38$$

$$P_{16} = P_{14} + P_{15} - P_{14}P_{15} = 0,5 + 0,3 - 0,5 \cdot 0,3 = 0,65$$

$$P_{19} = P_{17} + P_{18} - P_{17}P_{18} = 0,5 + 0,3 - 0,5 \cdot 0,3 = 0,65$$

$$P_{22} = P_{20} + P_{21} - P_{20}P_{21} = 0,4 + 0,4 - 0,4 \cdot 0,4 = 0,64$$

$$P_{23} = P_{16} + P_{19} + P_{22} - P_{16}P_{19} - P_{16}P_{22} - P_{19}P_{22} + P_{16}P_{19}P_{22} = \\ = 0,65 + 0,65 + 0,64 - 0,65 \cdot 0,64 - 0,65 \cdot 0,64 - 0,65 \cdot 0,64 + 0,65 \cdot 0,65 \cdot 0,64 = 0,96$$

$$P_{24} = P_{13} + P_{23} - P_{13}P_{23} = 0,38 + 0,96 - 0,38 \cdot 0,96 = 0,98$$

Таким чином, на робочому місці під час завантаження добрив при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях можна очікувати 0,96 травми.

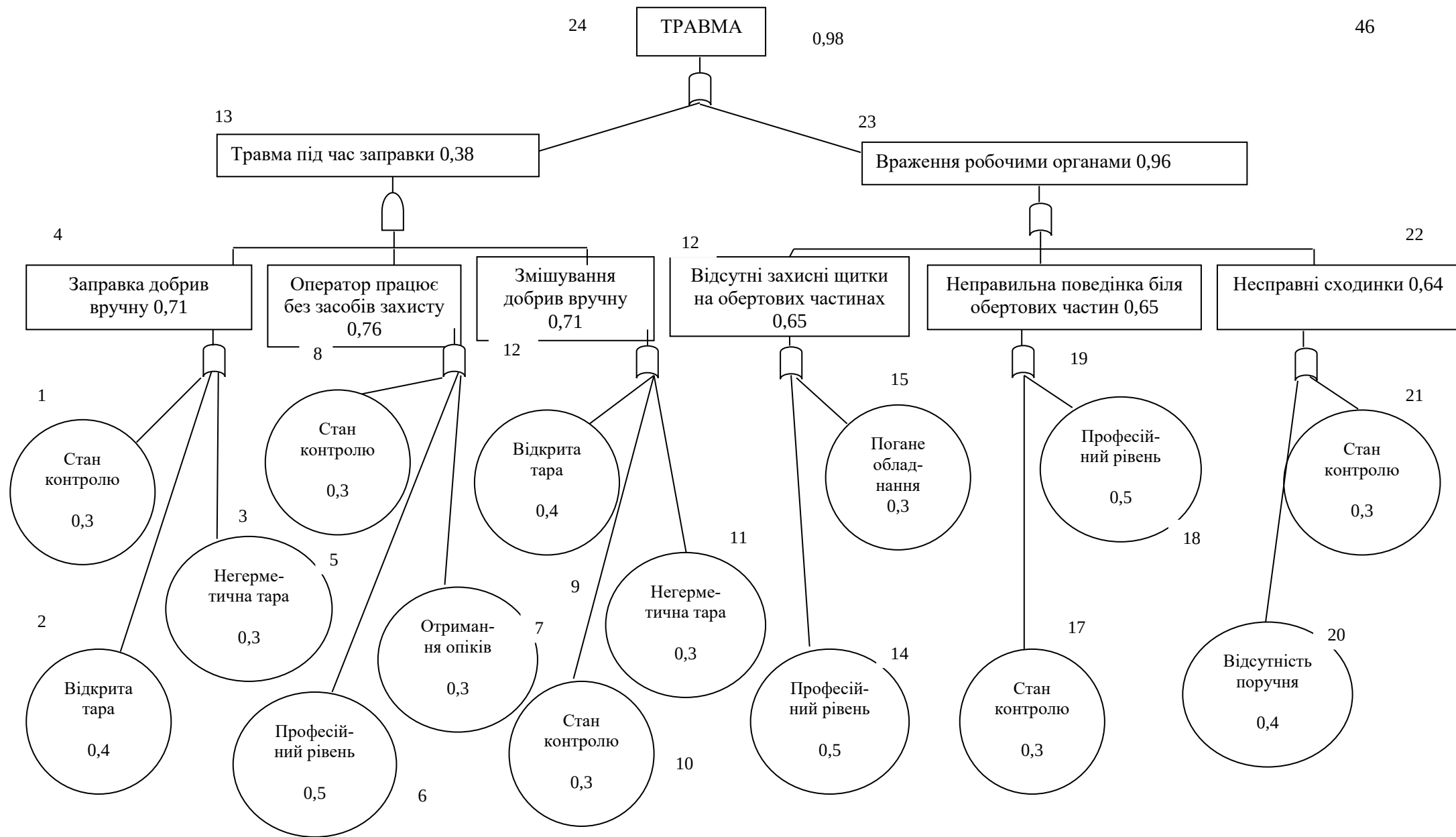


Рис. 5.1. Логіко-емітаційна модель процесу виникнення травми у працівника під час завантаження добрив

В даній моделі:



- оператор «і»;



- оператор «або»;

1,2,3...- номери подій; 0,3; 0,4; 0,5 - ... ймовірність подій.

Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, підвищити контроль та використовувати тару і обладнання за всіма вимогами техніки безпеки), то можна побачити на моделі шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки до 1.

5.5. Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

1. Негайно зупиніть машину у разі появи незвичних шумів, диму, несправностей, іскріння електрообладнання, нагрівання підшипників, редукторів або інших компонентів.

2. У разі пожежі, за можливості, відсуньте комбайн від посівів, увімкніть пожежну сигналізацію і приступайте до гасіння пожежі.

3. У разі отримання травми вживіть заходів для надання першої допомоги потерпілому і за необхідності відправте його до медичного закладу. Місце події слід залишити недоторканим до повного розслідування події комісією. Якщо збереження неможливе, складіть детальну схему всіх об'єктів і місцезнаходження потерпілого.

Висновки за розділом

У цьому розділі аналізуються умови експлуатації розроблених машин для внесення добрив і наведені вимоги з охорони праці під час внесення мінеральних добрив відцентровими розкидачами.

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У межах виконання роботи здійснили розрахунок економічної ефективності роботи агрегату у складі трактора ЮМЗ-8244 та відцентрового розкидача мінеральних добрив Rauch AXIS 30.1, який працював з звичайному режимі та в режимі змінної норми внесення на основі попередньо отриманої інформації про задану ділянку. З отриманих наборів інформації за допомогою програмного забезпечення були оброблені карти внесення, на основі яких проводилось змінне внесення.

Розкидання зі змінною нормою внесення дало змогу підвищити якість внесення мінеральних добрив та зросла продуктивність агрегату – з початкових 12,1 га/год до 12,5 га/год.

Техніко-економічні показники було визначено шляхом порівняння роботи агрегату під час роботи у звичайному режимі та в режимі змінної норми внесення.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані до техніко-економічних розрахунків

№ п/п	Показник	Розмірність	Технологічна машина	
1	Річний обсяг роботи	га	230	230
2	Продуктивність	га/год	2,1	2,5
3	Витрати ПММ	кг/год	9,7	8,65
4	Вартість трактора	грн	1235000	1235000
	Вартість розкидача		360000	360000
5	Кількість обслуговуючого персоналу		1	1

Провівши необхідні розрахунки, отримали результати показників економічної оцінки, які наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 6.2 Показники економічної ефективності внесення мінеральних добрив

№ п/п	ПОКАЗНИКИ	ВАРІАНТ	
		звичайний	змінна норма
1	Вид роботи	Внесення мінеральних добрив	
2	Об'єм роботи, га	230	230
3	Склад агрегату: трактор машина	ЮМЗ-8244 Rauch AXIS 30.1	ЮМЗ-8244 Rauch AXIS 30.1
4	Продуктивність, га/год	2,1	2,5
5	Кількість нормогодин в обсязі робіт	109,52	92,00
6	Кількість обслуговуючого персоналу - трактористів-машиністів - допоміжних працівників	1 -	1 -
7	Тарифна ставка, грн/год	41,67	41,67
8	Норма витрати пального	9,7	8,65
9	Комплексна ціна пального, кг/га	51,5	51,5
10	Балансова вартість, грн: трактора машини	1235000 360000	1235000 360000
11	Експлуатаційні витрати, грн/га Витрати на ПММ Витрати на ТО і ПР трактора машини	756,24 499,55 196,18 30,05	700 445,48 196,17 31,05
12	Капітальні вкладення, грн/га	1178,25	1183,46
13	Приведені затрати, грн/га	932,97	877,52
14	Річний економічний ефект, грн		12753,5

Висновки за розділом

Згідно з розрахунками, розкидання добрив зі змінною нормою є більш ефективним заходом і може бути рекомендований до використання. Прогнозований річний ефект становить 12753,5 грн під час обробки площі обсягом 230 га.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Під час оцінки впливу гранулометричного складу мінеральних добрив основну увагу було зосереджено відцентровому принципу внесення. Ця залежність контролювалася за допомогою розрахованих відсоткових значень коефіцієнта варіації для окремих варіантів вимірювання.

При відцентровому принципі розкидання вплив розміру частинок добрива на рівномірність внесення був доведений для обох використаних добрив. Середнє значення коефіцієнта варіації становило 8,95% для гранульованого нітроамофоски. Проте оптимальною фракцією для цього добрива можна вважати частинки з інтервалом розмірів 2 - 4 мм, для яких середнє значення коефіцієнта варіації становило 8,53%.

Невелику різницю в якості внесення між початковим складом добрива та самою фракцією 2-4 мм можна пояснити тим, що початковий гранулометричний склад добрива, що постачається виробником, містив високий відсоток цієї фракції (66,3%).

Частинки розміром 4-5 мм також можна вважати придатною фракцією за розміром, яких добриво містить 31,1%. Експериментальні вимірювання поперечної однорідності фракції менше 2 мм не могли бути проведені, оскільки добриво містило лише дуже малий масовий відсоток цієї фракції, і не вдалося отримати достатню кількість добрив для випробувань.

Під час випробування внесеного добрива аміачної селітри відцентровий розкидач досяг коефіцієнта варіації, який був на 4-10% вищим, ніж для нітроамофоски. Найбільшої нерівномірності досягла фракція 1-2 мм (в середньому 19,08%).

Частинки, що потрапляють у інтервал розмірів більше 2 мм, можна вважати більш придатною фракцією для цього добрива. Розкидач досяг у середньому на 2,93% кращих результатів коефіцієнта варіації при внесенні цієї фракції, ніж при вихідному гранулометричному складі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Іванишин В.В. Про розробку і створення в Україні сільськогосподарських машин сучасного рівня. Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. 2012. Вип. 11. –Т. 2 (66). С. 8–14.
2. Бутенко А.О. Вплив мінерального живлення на продуктивність сортів і гібридів соняшнику в умовах Північно-східного регіону України. Вісник Сумського НАУ, 2003. С. 139-141.
3. Гевко Р. Б. Машини сільськогосподарського виробництва : навчальний посібник. Тернопіль : ТДПУ, 2005. 228 с.
4. Даниленко А. С., Горлачук В. В., В'юн В. Г., Песчанська І. М., Сохнич А. Я. Управління відтворенням і збереженням родючості ґрунту у контексті сталого розвитку природокористування. Миколаїв: Вид-во ПП “Іліон”, 2003. 39 с.
5. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Машини для приготування і внесення добрив. Харків : Око, 2002. Т. 1, ч. 3. 352 с.
6. Бендера І.М., Грубий В.П., Роздорожнюк П.І. та ін. Експлуатація машин і обладнання. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І., 2013. 576 с
7. Кравчук В. І., Войтюк Д. Г. Посібник. Машини для хімічного захисту рослин. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2010. 184 с.
8. Кравчук В. І. Посібник. Машини і обладнання для приготування та внесення добрив. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2011. 152 с.
9. Кобець А. С. Обґрунтування конструкції відцентрового розкидача мінеральних добрив. Сільськогосподарські машини: Зб. наук. праць. 2014. Вип. 29-30. С. 42-53.
10. Коць С.Я., Петерсен Н.В. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин. Київ: Логос, 2005. 150 с.
11. Рибарук В.Я., Ріпка І.І. Сільськогосподарські машини. Практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів. Львів. ЛДАУ, 1998. 264 с.
12. Ріпка І.І., Семен Я.В., Крунич О.М., Бендера І.М., Рудь А.В. Основи

механізації сільськогосподарського виробництва: Навч. посібник. Львів: ЛНАУ, 2013. 224 с.

13. Лісовал А.П., Макаренко В.М., Кравченко С.М. Система застосування добрив. К: Вища школа, 2002. 317 с.

14. Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1993. 268 с.

15. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. Львів : НВФ «Українські технології», 2010. 108 с.

16. Новітні агротехнології у рослинництві: Підручник / В.Д.Паламарчук, І.С. Поліщук, В.А. Мазур, О.Д. Паламарчук. – Вінниця, 2017. – 602 с

17. Соколов В.М., Вожик Ю.Г., Донець СМ., Лінник М.К., Смаковський Ф.П. Машини для приготування і внесення добрив. Київ: Урожай, 1997. 168 с.

18. Носков Б.С., Прістер Б. С, Лобода М. В. Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України. К.: Урожай, 1994. 336 с.

19. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського господарства України. Збірник наукових праць. Дослідницьке. 2021. Випуск 28 (42).

20. Холодюк О.В. Диференційне внесення добрив – запорука успіху. Сучасні моделі розвитку агропромислового виробництва: 84 виклики та перспективи: матеріали І Всеукраїнської науково-практичної конференції, 27 вересня 2018 р. Глухів, 2018. С. 196-197.

21. Царенко О.М., Войтюк Д.Г., Швайко В.М. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник. К.: Мета, 2003. 448 с.

22. Ценюх Я. Тенденції розвитку конструкцій розкидачів мінеральних добрив. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. праць. Дослідницьке, 2009. Вип. 13. С. 198-211.

23. Яропуд В.М., Пономаренко Н.О., Лепеть Є. І. Дослідження

конструктивно-технологічних параметрів робочого органу для розкидання сипучих матеріалів. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2020. №3(110). С. 95–102.

24. <https://www.agronom.com.ua/nalashtuvannya-rozkydacha-mineralnyh-dobryv>. Дата звернення 20.10.2025 р.

25. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/4933dda9-2f95-40be-adf5-2cb07409a1c5/content>. Дата звернення 20.10.2025 р.