

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
« ____ » _____ 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення роторного робочого органу розкидача
органічно-мінеральних добрив»

Виконав: студент 3 курсу, групи 33к-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Драмарецький Дмитро Миколайович
(прізвище та ініціали)
Керівник к.е.н., доцент Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ.....	4
1.1. Технологічні особливості внесення органічних та мінеральних добрив..	4
1.2. Аналіз конструкцій машин та робочих органів для поверхневого внесення гранульованих добрив.....	6
Висновки по розділу.....	12
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	13
2.1. Опис конструктивної схеми удосконаленого роторного робочого органу розкидача органічно-мінеральних добрив.....	13
2.2. Обґрунтування основних конструктивних параметрів лопастей робочого органу.....	16
2.3. Результати роботи розкидача органічно-мінеральних добрив.....	21
Висновки по розділу.....	24
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	26
3.1. Організація охорони праці в аграрних господарствах.....	26
3.2. Заходи з охорони праці під час роботи з машинами для розкидання добрив.....	27
Висновки по розділу.....	29
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ.....	30
Висновки по розділу.....	32
Загальні висновки.....	33
Список використаних джерел.....	34

ВСТУП

Добрива – це речовини, що застосовуються для покращення властивостей ґрунту, підвищення урожаїв і т.д. Ефект добрив досягається віддачею відсутніх хімічних компонентів рослинам, які необхідні для їх росту й розвитку. У всіх сільськогосподарських підприємствах України та світу, попитом користуються органічні добрива, що збагачують ґрунт азотом та мінеральні добрива, що містять один або декілька поживних елементів.

В зв'язку із зменшенням тваринництва постало питання нестачі органічних добрив. Дослідження показали, що можна зменшити дози внесення органічних добрив за рахунок суміші органічних та мінеральних добрив. Тому, пропонується вносити збалансовані органічно-мінеральні добрива, що мають у своєму складі органічну речовину й мінеральні сполуки, які пов'язані хімічно або абсорбаційно [2]. В результаті можна зменшити дози внесення органічних добрив і досягти високої агрохімічної ефективності та підвищити засвоєння мінералів.

Найбільш простим у технічному виконанні й досить ефективним способом внесення органічних та мінеральних добрив є поверхневий, із застосуванням кузовних розкидачів.

В багатьох країнах світу, у тому числі й в Україні, використовують розкидачі гранульованих добрив з робочими органами у вигляді дисків, що змонтовані на вертикальній осі обертання. Проте, у таких робочих органів є суттєвий недолік: при збільшенні кількості подавання добрив, частина матеріалу не встигає досягти поверхні лопаток і сходить прямо з диска, не розігнавшись до необхідної швидкості. Для усунення цієї проблеми рекомендується використання робочих органів на горизонтальній осі обертання.

У зв'язку з цим, актуальність дослідження полягає в удосконаленні процесу розподілу гранульованих органо-мінеральних добрив роторними робочими органами на горизонтальній осі обертання.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ

1.1. Технологічні особливості внесення органічних та мінеральних добрив.

Рівномірний розподіл добрив поверхнею поля – це основний критерій, що дозволяє отримати якісний урожай, тому його підвищенням займалися багато вчених [2, 8]. Нерівномірність внесення добрив вище 25% призводить до нерівномірного врожаю по всій ділянці поля. Через різницю в кількості розкинутих на ділянці добрив, рослини розвиваються по-різному. Тому, рівномірне внесення – це запорука гарного та якісного врожаю. Нерівномірне внесення, наприклад, мінеральних добрив, тягне за собою екологічні проблеми [4]. Так, надлишки добрив вимиваються підземними водами, що розкладаються в ґрунті, утворюючи леткі продукти, і надходять в атмосферу, що тягне за собою негативний вплив на здоров'я людини [4]. Надлишок азотного та фосфорного добрива більшою мірою впливає на забруднення ґрунту. У ґрунті накопичується велика кількість P_2O_5 , які при потраплянні у водойми через стічні води, забруднюють їх, стимулюють надмірне цвітіння водних рослин і робить водойми непридатним для харчового споживання.

Надлишок добрив на деяких ділянках викликає вилягання рослин, особливо це стосується колосових. Зростає маса надземної частини рослини, що призводить до великого навантаження на нижню частину стебла та його перегину. Це спричиняє складність при збиранні зернових культур комбайном [10].

Систематичний нерівномірний розподіл органічних добрив призводить до негативних наслідків та утворення в ґрунті великої кількості засвоєного азоту [4].

Основною властивістю добрив є коефіцієнт парусності, що впливає на аеродинамічні якості частинок, дальність їх вильоту і траєкторію польоту.

Гранулометричний склад – властивість сипучих добрив, що забезпечує рівномірне надходження добрив до робочих органів, особливо відцентрових

розкидачів. У зв'язку з різницею фізико-механічних властивостей компонентів сипучих гранульованих добрив відбувається сильне їх розшарування, що негативно позначається при транспортуванні, навантаженні та внесенні. Гранульовані мінеральні та органо-мінеральні добрива вимагають коректного зберігання, транспортування, змішування та внесення [2]. До того ж, при внесенні добрив відцентровими робочими органами деякі гранули руйнуються внаслідок удару. Дроблення, підвищує масу порошкоподібної фракції, змінюючи фізико-механічні та технологічні властивості добрив. Дослідження показали, що при внесенні мінеральних добрив до 11% гранул порушуються, сприяючи цим самим втраті біологічних властивостей та підвищенню нерівномірності розподілу їх по полю.

Найважливіша властивість добрив, що впливає на динаміку їх викиду та поділ частинок за фракціями – це коефіцієнт тертя. В роботі [7] встановлено вплив сили тертя на сепарацію частинок, обумовлений різницею швидкостей руху та секторів метання частинок з різним коефіцієнтом тертя.

Ще один показник, що впливає на динаміку руху частки добрив по робочому органу – це вологість і вологоємність. З вологістю взаємопов'язані всі інші критерії та фізико-механічні властивості гранульованих добрив [7]. У таблиці 1.1 показано максимально допустима вологість. Відхилення від цих показників веде до псування добрив зміни їх фізико-механічних властивостей. Вологість та вологоємність добрив напряму залежить від їх гігроскопічності, за високого ступеня якої, добрива схильні до злежування, погіршується міцність, щільність гранул і розсіювання їх по полю. В результаті нерівномірність внесення виходить за межі допустимих меж [4].

Таблиця 1.1 – Вологість мінеральних добрив

Показники	Допустима вологість, %
Азотні	0,15...0,3
Суперфосфат	3...4
Вапняне борошно	1,5...4
Калійні	1...6
Водорозчинні фосфорні	3...5

Сульфат калію має практично нульову гігроскопічність [6] .

Підвищення вологості добрив викликає їх злежування, показник, який залежить від умов, в яких зберігаються добрива [2]. Ступені злежуваності мінеральних добрив за 7-бальною шкалою, представлені в таблиці 1.2. Найбільша 7-а ступінь – сильнослежуваність характерна для карбаміду та суперфосфату.

Таблиця 1.2 – Ступені злежуваності мінеральних добрив

Ступінь	Назва добрив
1	Сульфат та хлорид калію, калімагnezія.
2/3	Карбамід (фракція 1...3 мм)
4	Сульфат амонію
5	Аміачна селітра
6	Суперфосфат гранульований, хлорид калію, сільвініт
7	Карбамід (фракція 0,2...1 мм), суперфосфат

Фізико-механічні властивості гранульованих добрив знаходяться у безпосередній залежності один від одного: при підвищенній вологості збільшується маса частинок, відповідно змінюється коефіцієнт тертя. При роботі роторних відцентрових робочих органів необхідно досягти найменшого відсотку роздроблених частинок.

В роботі [1] виявлено вплив кута нахилу робочої поверхні лопастей робочих органів на дроблення та сектор метання частинок сипучих мінеральних добрив. Встановлено, що від'ємний кут нахилу робочої поверхні відкидної лопасті зменшує силу удару частинок добрива об неї. Відповідно, для того щоб досягти рівномірного гранулометричного складу добрив, необхідно знижувати силу удару частинок, змінюючи форму та параметри робочих органів.

1.2. Аналіз конструкцій машин та робочих органів для поверхневого внесення гранульованих добрив.

На сьогоднішній день в Україні відомо багато різних способів та засобів для внесення мінеральних та органо-мінеральних добрив у твердому та рідкому вигляді [7].

Незважаючи на те, що рідкі добрива мають меншу вартість порівняно з твердими добривами та легше засвоюються рослинами, для їх внесення необхідні спеціальні інструменти та технічні засоби (Рис. 1.1), які не можуть бути задіяні в інших операціях. Крім того, рідкі добрива складні у зберіганні та викликають опіки при потраплянні на листя.

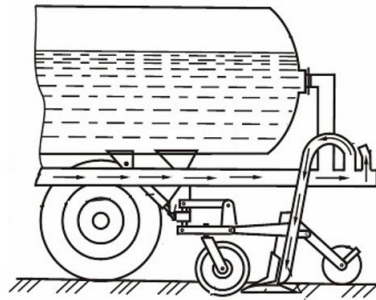


Рисунок 1.1 – Приклад пристрою для внесення рідких добрив

Внесення ж твердих добрив поділяється на поверхневе (розкидне) та локальне. На рис. 1.2 зображено приклад робочого органу для локального внесення гранульованих добрив [7].

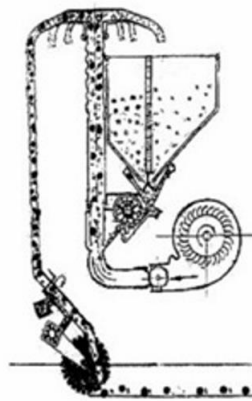


Рисунок 1.2 – Робочий орган для локального внесення добрив

Проте, локальне внесення має кілька суттєвих недоліків:

- значне ускладнення конструкції робочих органів;
- неможливість використання машин для локального внесення на інших сільськогосподарських операціях;
- за рахунок використання комбінованих агрегатів переважання однієї операції над іншою;
- підвищені вимоги до попередньої підготовки поля.

У зв'язку з цим найбільш доступним способом внесення є поверхневий, із застосуванням кузовних розкидачів. Переваги кузовних розкидачів полягають у простоті конструкції кузова та робочих органів і невисокої вартості. Крім того, дані розкидачі можна застосовувати в інших сільськогосподарських і не тільки операціях, приклад, як причеми для транспортування різних матеріалів.

При поверхневому внесенні значний обсяг твердих добрив, в залежності від відстані транспортування від складу до поля, вноситься за прямоочною, перевантажувальною та перевалочною технологіями, із застосуванням кузовних розкидачів. Технологічна схема роботи у всіх кузовних розкидачів ідентична: завантажувані навантажувачами різного типу добрива, просуваються транспортером до робочих органів, після чого відбувається їх розкидання. Кузов розкидачів змонтований на причепі з однією або двома осями. При знятті робочих органів у деяких випадках вони можуть бути використані, як звичайний тракторний причіп [1].

Для подачі добрив до робочих органів на розкидачах, як мінеральних, так і органічних добрив використовують транспортери різних типів: ланцюгово-планчасті, шнекові, вібраційні, стрічкові (Рис. 1.3) [10].

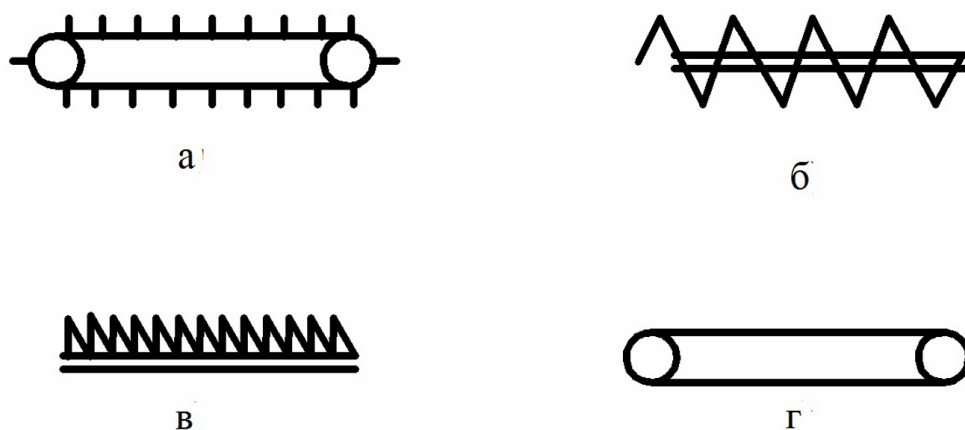


Рисунок 1.3 – Схеми різних транспортерів розкидачів:

а – ланцюгово-планчасті; б – шнекові; в – вібраційні; г – стрічкові.

Вібраційні транспортери конструктивно прості та легкі у ремонті та обслуговуванні, але мало підходять для сухих сипучих органічно-мінеральних добрив.

Шнекові транспортери найбільш ефективно працюють із сухими сипучими добривами. Але при використанні торфо-мінеральної суміші, торф може мати високий рівень вологості, що призводить до не ефективності такого транспортера.

Ланцюгово-планчасті найбільш складні в конструкції, ремонті та експлуатації. Через велику кількість деталей їх дуже складно очищати, хоча підходять для всіх типів добрив.

На відміну від твердих органічних добрив, для подачі яких до робочого органу використовуються ланцюгово-планчасті та шнекові транспорти. При внесенні гранульованих добрив з дрібною фракцією використовують найчастіше стрічкові транспортери [10].

У багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні, використовують розкидачі мінеральних добрив із робочими органами у вигляді дисків (Рис. 1.4), змонтованих на вертикальній осі обертання, які здійснюють обертання і розкидання добрив під дією відцентрових сил.

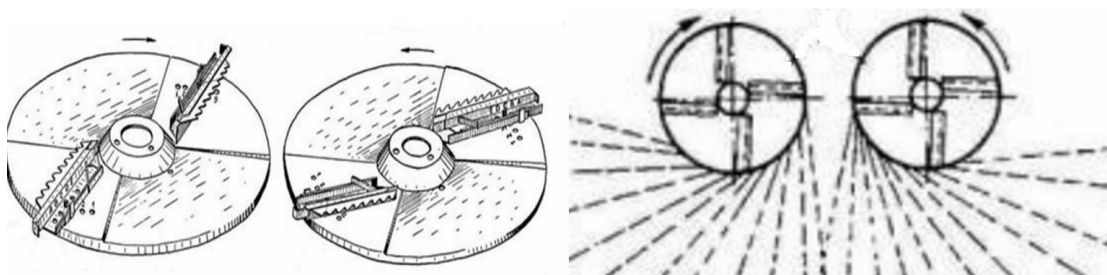


Рисунок 1.4 – Робочі органи для внесення мінеральних добрив

Так, в Україні використовують машини РУМ-(1.5, 3.0), МВУ-5, в Німеччині – Amazone ZA, ZG-B [13]. Дальність вильоту добрив при розкиданні робочими органами такого типу сягає 15-20 м.

Проте, у горизонтальних робочих органів є суттєвий недолік: при збільшенні кількості поданих добрив частина матеріалу не встигає досягти поверхні лопаток і сходить прямо з диска, не разігнавшись до необхідної швидкості. В результаті відбувається ссипання добрив у безпосередній близькості від диска, тим самим збільшується нерівномірність розподілу. Як відомо, надлишок добрив на певній ділянці тягне за собою цілу низку проблем, як для врожаю, так його споживачів [12]. Удосконалення даної лопасті частіше всього

призводить до значного ускладнення конструкції та необхідності використання великої кількості приводних механізмів.

Наступний, часто зустрічається тип робочих органів для поверхневого внесення твердих добрив – роторні, розташовані на горизонтальній осі обертання, вони використовуються, як для внесення органічних, так і мінеральних добрив. Вони в основній своїй масі являють собою встановлені за допомогою маточини диск з лопатками. Кількість лопаток зазвичай варіюється від 4 до 6, залежно від виду матеріалу та навантаження на привід робочого органу. Так у 1983 році був розроблений шестилопатевий робочий орган з нахилом лопастей вперед на 20° , що дозволило збільшити дальність вильоту частинок добрива. Проте, це спричиняє нерівну кількість викинутих добрив на початковій і кінцевій ділянці смуги розсіювання та знизило швидкість польоту частинок [3].

Відомий робочий орган розкидання мінеральних добрив, що складається з двох металників роторного типу з лопастями, розташованими під додатнім кутом по відношенню до горизонту, що приводяться в рух пасовою передачею (Рис. 1.5) [8].

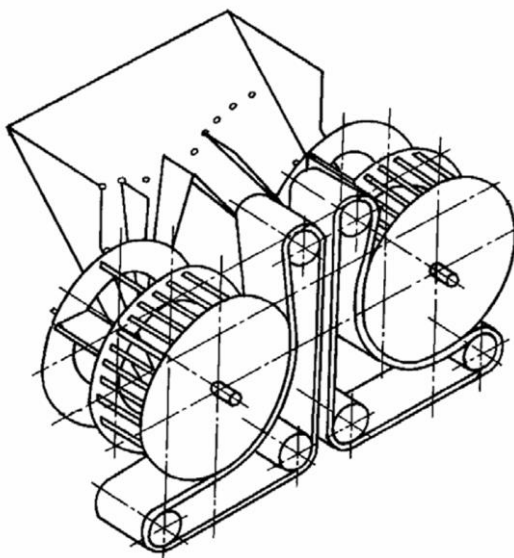


Рисунок 1.5 – Робочий орган розкидача мінеральних добрив

Використання пасової передачі для приводу робочих органів у розкидачів мінеральних добрив недоцільно через низький термін служби ременя та неможливості передачі підвищеного навантаження. Для забезпечення розкидання добрив у простір безпосередньо під робочим органом, необхідно зменшувати кут розкидання, що зменшує ширину захвату. А при розкиданні добрив під додатніми

кутами до горизонту, частинки розкидаються хаотично, тим самим утворюючи вузький віяловий потік, в якому важко забезпечити задану рівномірність.

Науковцями удосконалено розкидач з робочим органом роторного типу, що розташований на горизонтальному валу. Принцип роботи полягав у наступному: добрива подавалися стрічковим транспортером до ротора та розкидалися вбік під час руху агрегату. Як металеньник в даному робочому органі використовувався вентилятор-шпуралка з кормозбирального комбайна ПСН-1Н. Вони бувають трьох- або шестилопастеві (Рис. 1.6). Використання такого роду роторного металеньника з п'ятьма лопастями обґрунтовано. В роботі [2] йдеться про те, що оптимальна кількість лопастей у цього виду робочих органів становить 4-5.

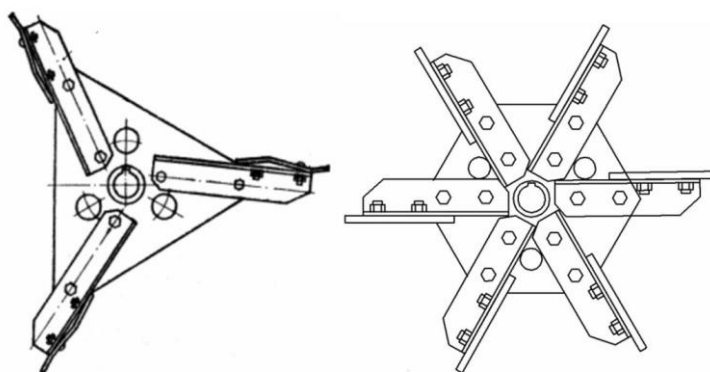


Рисунок 1.6 – Вентилятори-шпиралки кормозбиральних комбайнів

Недоліком даного роторного робочого органу на горизонтальній осі обертання, як у всіх попередніх, послужила неможливість працювати у вітряну погоду через малу щільність потоку добрив, що викидається. Частинки різної маси, що виштовхуються лопатками, мають різну траєкторію польоту, що сприяє утворенню не щільного широкого вертикального віяла частинок (Рис. 1.7).

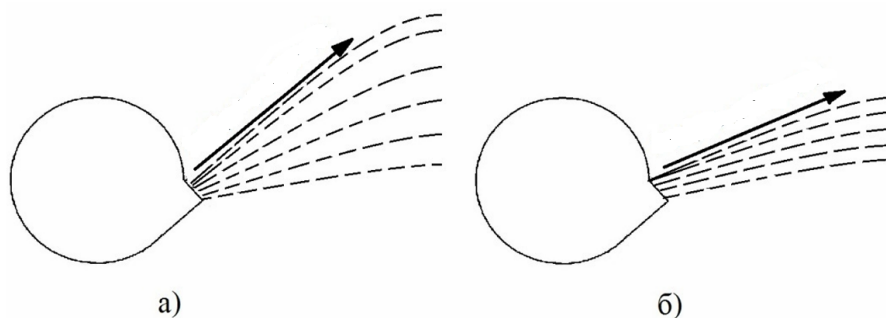


Рисунок 1.7 – Схема вертикального віялового розподілу частинок добрив:

а – широке віяло частинок; б – вузьке віяло частинок.

Використання пневмомеханічних робочих органів, з горизонтальною віссю є ефективним, за винятком хаотичності траєкторії польоту викинутих частинок. Необхідно домогтися ущільнення та усунення віялості потоку, що викидається, шляхом зміни форми лопаток роторного робочого органу або використанням пристрою для коригування траєкторії. Таким пристроєм є дефлектор.

Висновки по розділу

Таким чином, в даному розділі нами проведено огляд можливих сумішей органічних та мінеральних добрив. Встановлено, що гранульовані органічно-мінеральні добрива – не менш ефективний вид добрив. Виявлено основні властивості добрив, що впливають на динаміку руху та рівномірність їх розподілу на поверхні поля.

Аналіз існуючих конструкцій для поверхового внесення гранульованих добрив, дозволив підтвердити доцільність використання пневмомеханічного робочого органу розташованого на горизонтальній осі обертання.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Опис конструктивної схеми удосконаленого роторного робочого органу розкидача органічно-мінеральних добрив.

Нами був удосконалений розкидач для внесення органічно-мінеральних добрив, схема якого наведена на рис. 2.1.

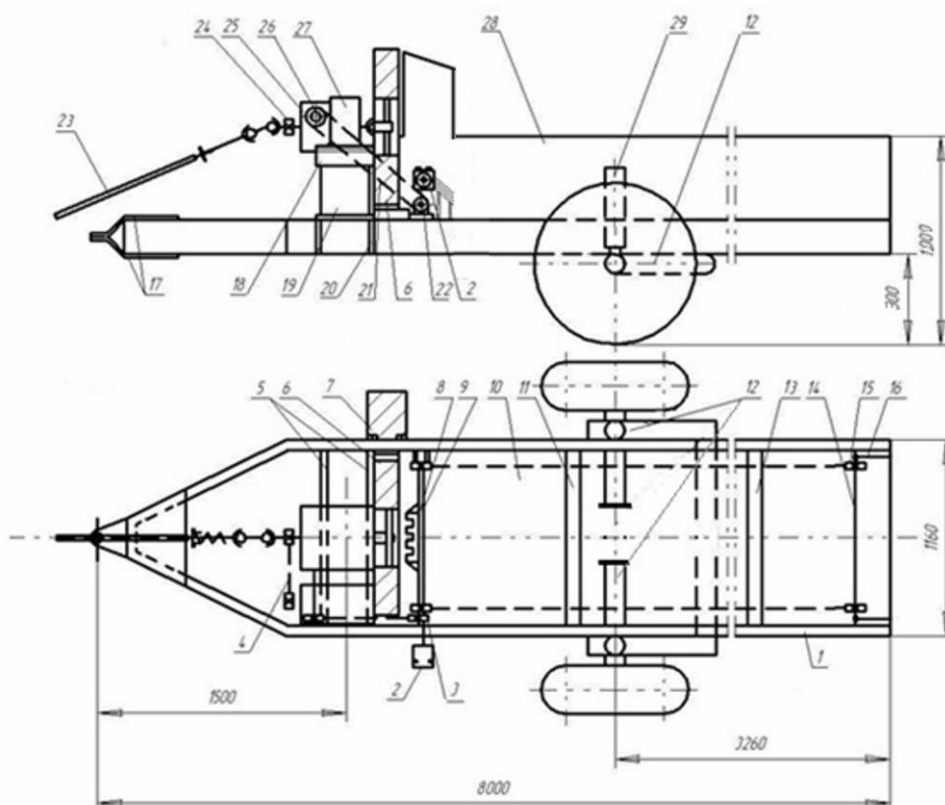


Рисунок 2.1 – Схема низькорамного розкидача добрив:

- 1 – рама; 2 – гідромотор; 3 – ведучий вал транспортера; 4 – ланцюг з кроком,
 5 – балки; 6 – робочий орган роторного типу; 7 – дефлектор; 8 – шнек;
 9 – вал шнека; 10 – стрічковий транспортер; 11,13 – пластини; 12 – колінчастий півосі; 14 –
 ведений вал транспортера; 15 – зірочка; 16 – натяжний пристрій транспортера; 17 – пластини;
 18 – опора; 19 – стійка; 20 – ребро жорсткості;
 21 – ланцюг; 22 – зірочка; 23 – карданна передача; 24 – зірочка; 25 – стійка;
 26 – опора; 27 – редуктор; 28 – бункер; 29 – гідроциліндр.

Рама 1 виготовлена з рами автомобіля ГАЗ-53, яку встановлено на дві півосі з гідроциліндром, що змінює кут нахилу кузова в залежності від кута нахилу

поверхні поля, що дозволяє розкидачу збільшити дорожній просвіт для безпроблемного транспортування. На раму встановлено приймальний бункер 31 від машини ПБ-2 із стрічковим транспортером 10. На рамі перед похилою частиною стрічкового транспортера встановлено барабан із робочим органом роторного типу, виготовлений за аналогією з вентилятором-швирилкою з роторного комбайна (Рис. 2.2). Виходячи з матеріалів експериментальних досліджень, оптимальна кількість лопастей в роторних робочих органах становить 4...5 [8]. У дослідного зразка п'ять лопастей. Це зменшить навантаження на сам робочий орган через зменшення об'ємної маси пласти, що зсувається. Привід робочого органу здійснюється через редуктор та карданну передачу від ВВП трактора.

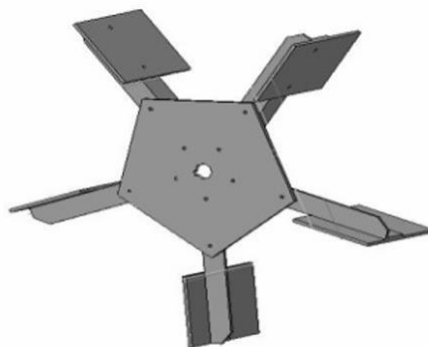


Рисунок 2.2 – Модель експериментального робочого органу роторного типу

Викид добрив здійснюється через вивантажувальне вікно квадратного перерізу 250 x 250 мм. Гідромотор 2 приводить в рух транспортер, що дуже зручно, так як дозволяє, не виходячи з кабіни трактора, регулювати швидкість руху стрічки, і як наслідок, кількість поданих до робочого органу добрив. Для направленої подачі добрив до робочих органів використовується шнек 8, який приводиться в рух ланцюговою передачею 4, з валу редуктора.

Привід робочого органу здійснюється від ВВП трактора, через редуктор 1 і зірочки 4 (кількість зубів – 12) та 3 (кількість зубів – 17), з'єднані між собою ланцюговою передачею (Рис. 2.3).

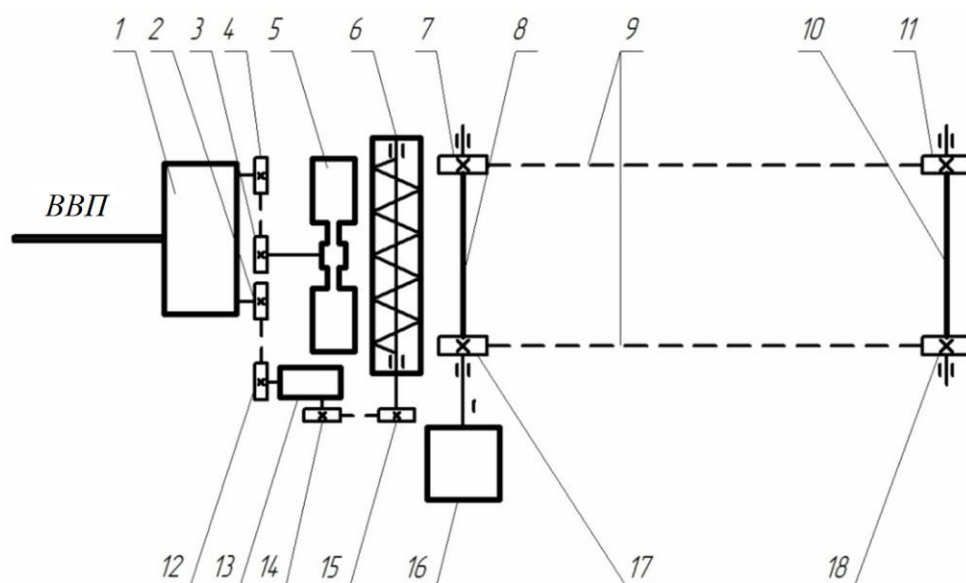


Рисунок 2.3 – Кінематична схема низькорамного розкидача добрив:

- 1 – редуктор; 2 – зірочка ($z=15$); 3 – зірочка ($z=17$); 4 – зірочка ($z=12$);
 5 – роторний робочий орган; 6 – шнек; 7,11,17,18 – зірочки;
 9 – ланцюги транспортера; 10 – вали транспортера; 12 – зірочка ($z=26$);
 13 – редуктор; 14 – зірочка ($z=25$); 15 – зірочка ($z=22$); 16 – гідромотор.

Більш детальна схема подачі гранульованих добрив до робочих органів представлена на рис. 2.4.

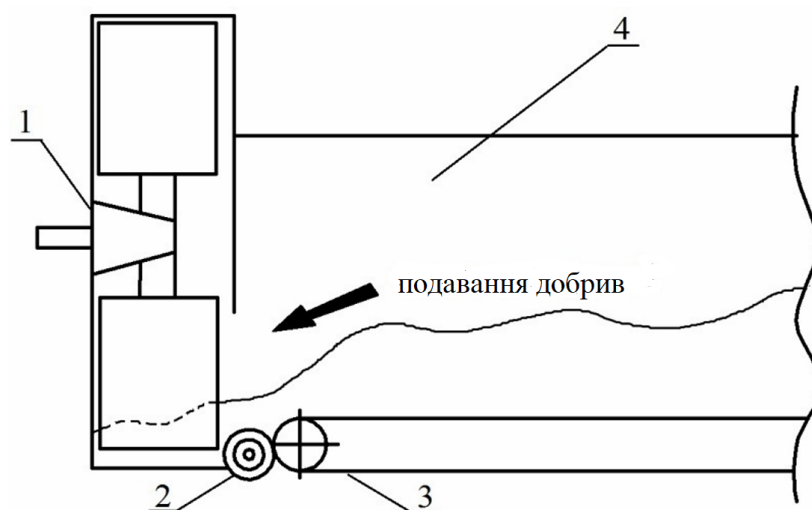


Рисунок 2.4 – Схема подачі добрив до робочого органу

- 1 – пневмомеханічний робочий орган роторного типу; 2 – шнек-живильник; 3 – стрічковий транспортер; 4 – кузов розкидача з добривами.

Технологія завантаження розкидача залежить від величини відстані між сховищем добрив та полем, на якому буде виконуватися внесення.

В окремих випадках, коли поле знаходиться в безпосередній близькості від сховища добрив, навантаження може здійснюватися за допомогою навантажувачів. Так як гранульовані добрива виробляються в основному в мішкотарі масою по 500 кг, спеціальний навантажувач піднімає мішки над кузовом та після чого в мішку робиться розріз, через який добрива висипаються в кузов.

Необхідно відзначити, що в залежності від дози внесення та віддаленості поля від сховища, для забезпечення безперебійної роботи розкидача добрив можна використовувати одночасно два автомобілі самоскида.

2.2. Обґрунтування основних конструктивних параметрів лопастей робочого органу.

При визначенні кута нахилу та найбільш ефективної форми лопастей робочого органу, що дозволяє досягти якісного внесення добрив, необхідно враховувати такі фактори: дальність польоту та дроблення частинок добрив.

Для обґрунтування залежності дальності польоту та дроблення частинок від положення лопасті були проведені експерименти, в яких по чергово розкидали гранульовані органічно-мінеральні добрива з використанням трьох різних форм лопастей: плоскої, з бортами та жолобоподібною. Кут нахилу лопаток відносно центру обертання ротора змінювали в межах від -16° до 16° . Для кожного положення, визначали дальність польоту та відсоток дроблення частинок, підклавши під вивантажувальне вікно кожуха ротора брезент завдовжки 20 метрів. Після 60-секундної роботи ротора заміряли довжину, на яку долітали частинки, і за допомогою набору решіт просіювали добрива. Із результатів трьох повторностей вираховували середнє арифметичне. На рис. 2.5 показано вплив кута установки лопасті на дальність польоту частинки з трьома різними видами лопастей.

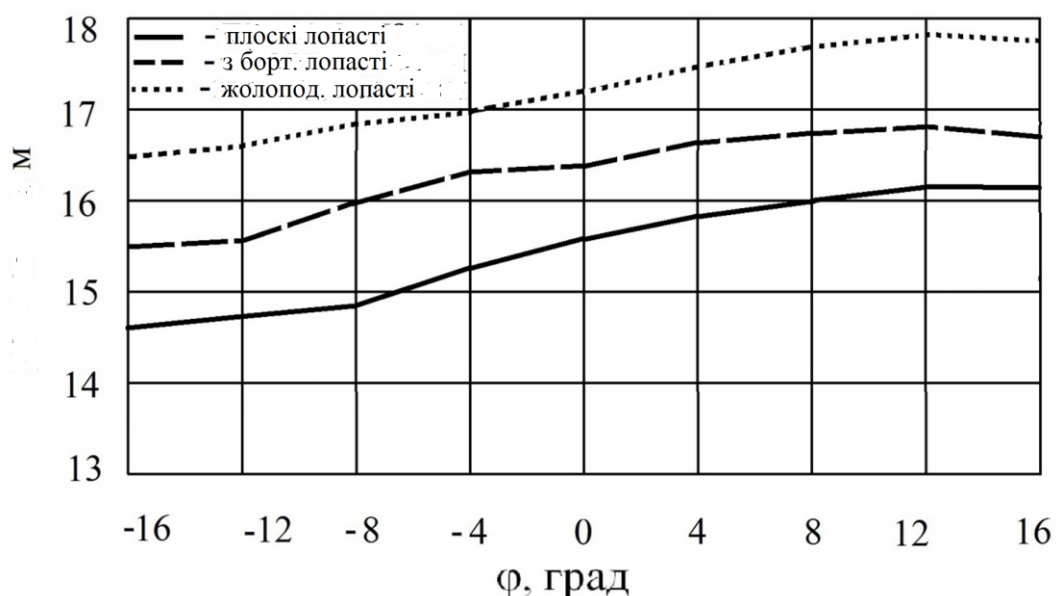


Рисунок 2.5 – Вплив кута нахилу лопастей φ° на дальність вильоту добрив

Виходячи з результатів вимірів, мінімальна дальність польоту частинки, спостерігається при негативних кутах нахилу лопасті. Максимум досягається при нахилі лопасті $\varphi=12^\circ$, з використанням лопасті жолобоподібної форми, і становить 17,8 м. Даний ефект пояснюється тим, що встановлені на 12° вперед лопасті, забезпечують найбільш прийнятну траєкторію польоту частинки для досягнення максимальної дальності. Плавний вигин робочої поверхні жолобоподібної лопасті дозволяє зменшити силу тертя, дозволяючи збільшити щільність потоку та дальність викиду добрив.

На рис. 2.6 видно, що при радіальному розташуванні лопастей відбувається найбільше дроблення гранул, яке може доходити до 14%. Фракція розміром 3-5 мм розбивається на 8% з додатнім кутом нахилу лопасті, і на 11% – для лопастей з негативним кутом нахилу. Дрібна фракція, подібна до частинок розміром 3-5 мм, при радіальному розташуванні лопастей, має найбільший відсоток дроблення – 11%. Як і у випадку з впливом положення лопастей на дальність вильоту частинок, перевагу мають лопасті з додатнім кутом нахилом, частково з кутом $\varphi=12^\circ$. Після подолання значення кута нахилу 12° в одну та іншу сторони результат суттєво не змінюється.

Нахил вперед забезпечують максимальну дальність та мінімальний відсоток дроблення частинок.

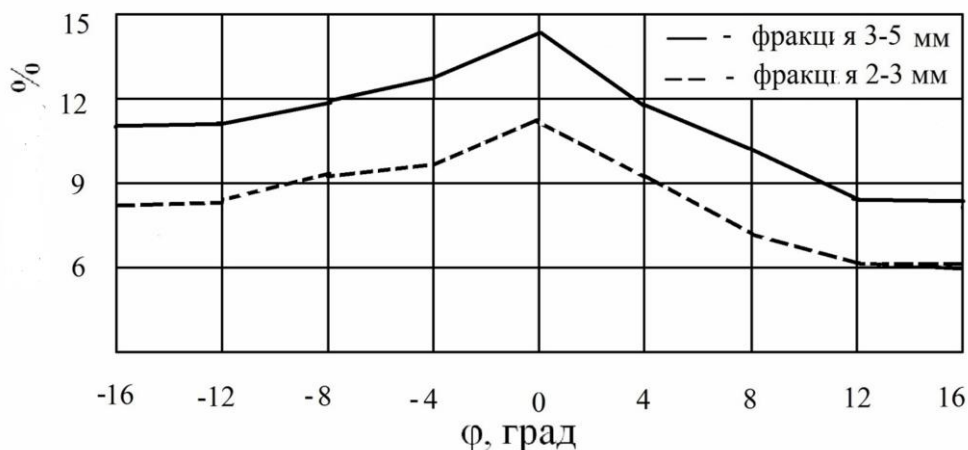


Рисунок 2.6 – Залежність відсотку дроблення частинок за фракціями від кута нахилу φ° , з використанням плоских лопастей

Результати випробувань робочого органу із жолобоподібними лопастями та лопастями з бортами показані на рис. 2.7-2.8.

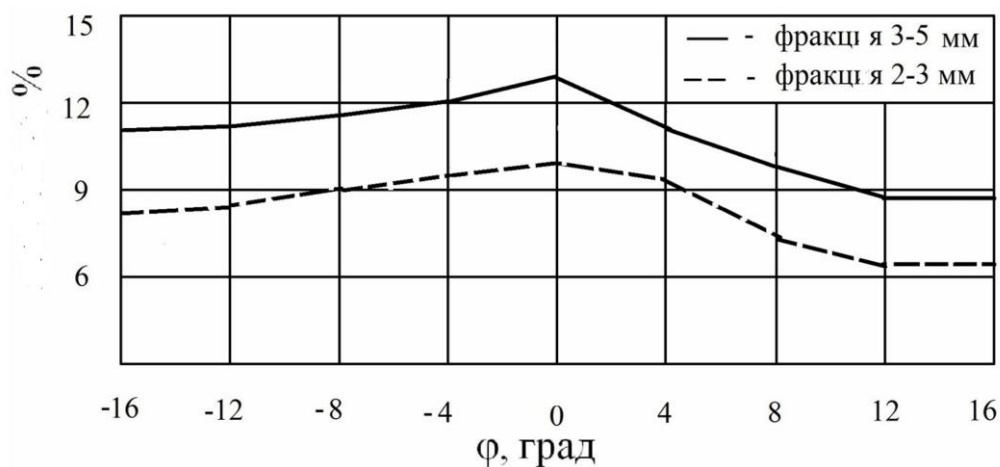


Рисунок 2.7 – Залежність відсотку дроблення частинок за фракціями від кута нахилу φ° , з використанням лопастей з бортами

Аналіз результатів досліджень (Рис. 2.7-2.8) показав, що лопасті з бортами не показали явної переваги. Відсоток дроблення гранул лопастями з бортами, порівняно з плоскими, знизився на 1,2% лише при радіальному їх розташуванні. Явну перевагу завдяки своїй конструкції продемонстрували лопасті жолобоподібної форми, які забезпечили зменшення відсотку дроблення в

середньому на 2% у всіх положеннях. За рахунок округлої форми, сила удару значно зменшується, рівно, як і площа зіткнення гранул із поверхнею лопасті.

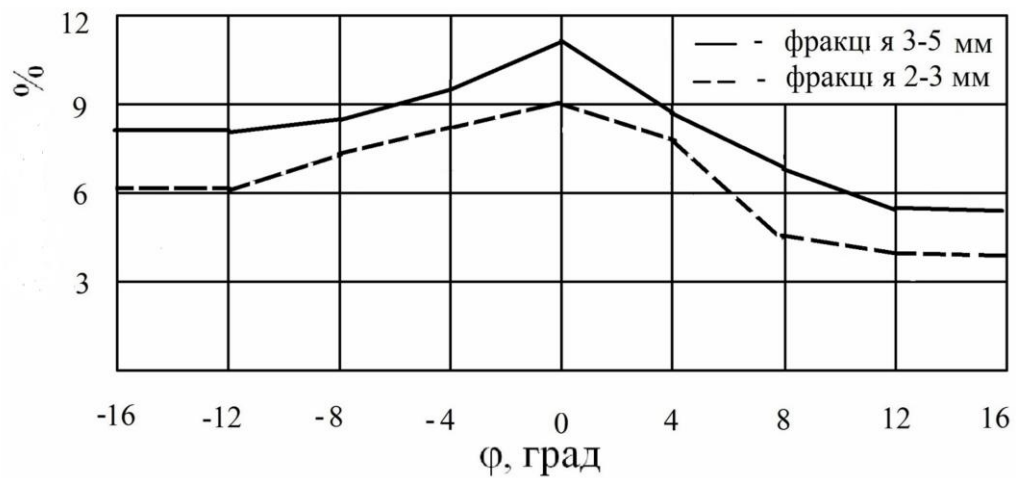


Рисунок 2.8 – Залежність відсотку дроблення частинок за фракціями від кута нахилу φ° , з використанням жолобоподібних лопастей

Далі з трьома видами лопастей у різних положеннях лопастей визначили швидкість руху частинок добрив в кожусі ротора. Результат показаний на рис. 2.9.

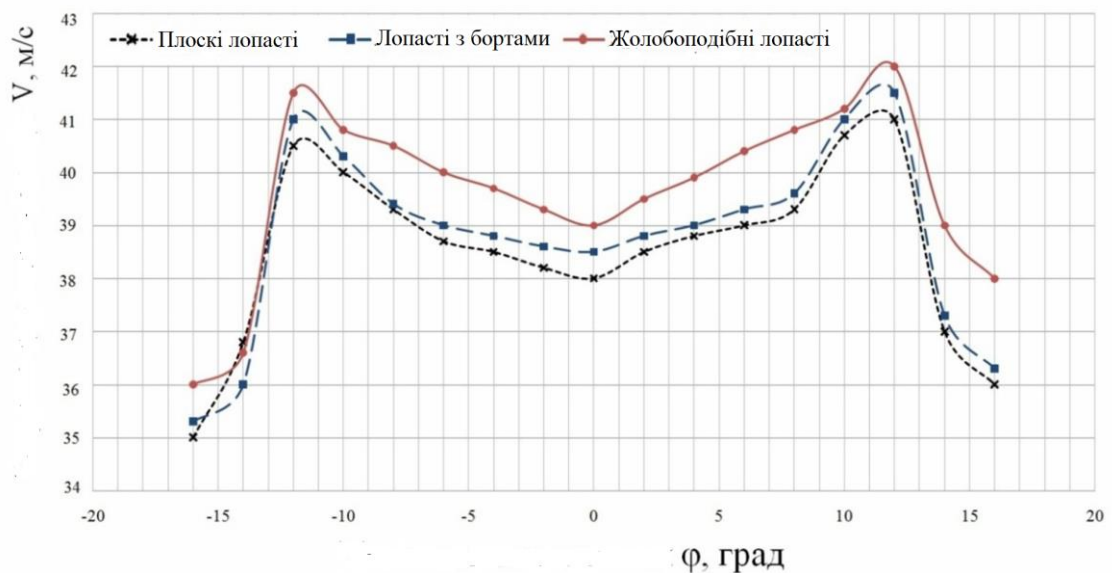


Рисунок 2.9 – Зміна швидкості руху частинок добрив (v) залежно від кута нахилу лопатки (φ)

Найбільшу швидкість руху частка добрив набуває при куті нахилу $11-13^\circ$ у від'ємну або додаткову сторону. Показники швидкості руху частинок змінюються незначно. В силу зменшення значення сили тертя, жолобоподібні лопасті, в

порівнянні з плоскими і lopастями з бортами, надають частці найбільшу швидкість й вважаються найефективнішими.

Проте, повітряний напір, що виникає при обертанні ротора з lopастями в кожусі (равлику), сприяє не тільки викиданню добрив через вивантажувальне вікно, але й частково захоплює його і перекидає в кожусі на повторну подачу. Відбувається пересипання добрив через lopасті та їх дроблення, особливо це характерно для lopастей при розташуванні $\varphi < 0$. В результаті збільшується пилоподібна фракція, знижується продуктивність агрегату, порушується рівномірність розподілу добрив по площі.

Для запобігання пересипанню добрив ми подовжили жолобоподібні lopасті. Довжина їх становила 440 мм. Цей розмір дозволив перекрити шляхи пересипання, так як lopасті стали доходити безпосередньо до осі обертання ротора. Повторивши експеримент, отримали наступний результат (Рис. 2.10).

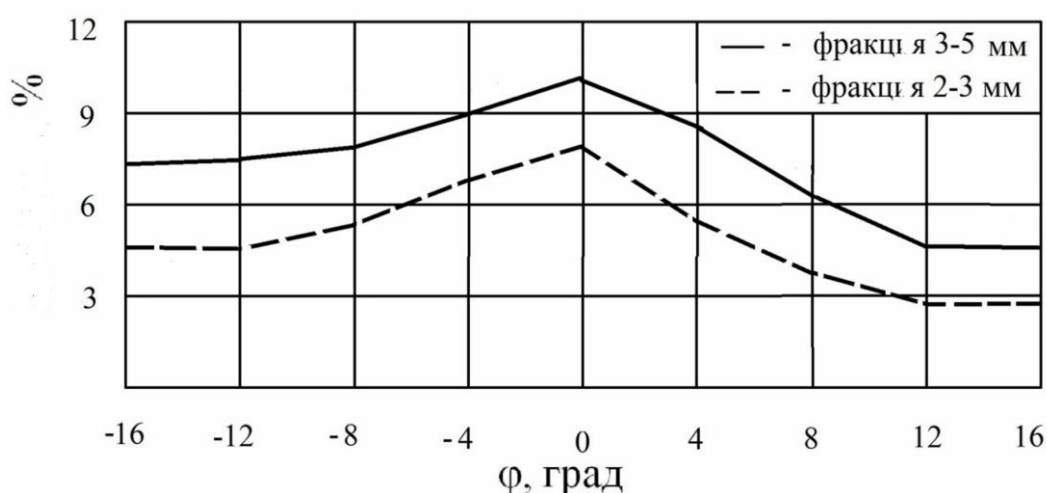


Рисунок 2.10 – Залежність відсотку дроблення частинок за фракціями від кута нахилу φ° , з використанням суцільних жолобоподібних lopастей

Конструкція суцільних lopастей виключила пересипання добрив, усунувши тим самим повторний удар по них lopастю, що наступною. Дослідження суцільних lopастей показали зменшення дроблення частинок на 0,7%. Крім того, величина середнього повітряного напору в кожусі ротора зросла із 156 до 209 мм.

Відповідно, виходячи з даних [3], максимальна швидкість руху частинок добрив може збільшитися до 50 м/с.

В результаті експериментальної перевірки форми, конструктивних особливостей та положення лопастей та лопастей робочого органу встановили, що використання суцільних жолобоподібних лопастей розміром 200 x 440 мм і кутом нахилу $\varphi=12^\circ$ дає позитивний ефект і дозволяє забезпечити найбільш якісне та ефективне внесення добрив. Ці висновки були враховані під час проведення подальших експериментів.

2.3. Результати роботи розкидача органічно-мінеральних добрив.

Роботу низькорамної машини для внесення органічно-мінеральних добрив перевіряли на різних режимах з трьома видами лопастей (плоскими, з бортами, та жолобоподібними) для роторного робочого органу. Встановлювали вплив форми лопастей на траєкторію польоту та розміри факелу розсіювання добрив.

Графічне подання траєкторії польоту частинок добрив, викинутої розкидачем, здійснювали за допомогою теоретичної та фактичної кривої. Розрахунок теоретичної траєкторії польоту частки добрив визначили за допомогою програми Mathcad.

В основу програми входить закон руху тіла кинутого під кутом до горизонту, та відповідна система рівнянь:

$$\begin{cases} x = v_0 \cos \alpha \cdot t \Rightarrow t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \\ y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (2.1)$$

Для знаходження траєкторії необхідно ввести такі дані: кут вильоту, швидкість та діаметр частинок добрив при сході з лопасті.

Кут нахилу вивантажувального вікна експериментального розкидача становить 35° . Значення діаметра частки, прийняли середнім – 3мм. Виходячи з результатів отриманих вище, швидкість сходу частки коливається від 41 до 42 м/с.

Теоретичні криві траєкторії руху, отримані для трьох форм лопастей є параболлами, що відповідають рівнянню:

$$y = xt g \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}. \quad (2.2)$$

Теоретичними розрахунками максимальна дальність вильоту частки добрив забезпечується жолобоподібними лопастями, і становить 18 м, а висота траєкторії – 4,2 м (Рис. 2.13).

Для плоских лопастей довжина смуги розсіювання склала 15 м, а максимальна висота, на яку піднімаються частинки – 3,1 м (Рис. 2.11).

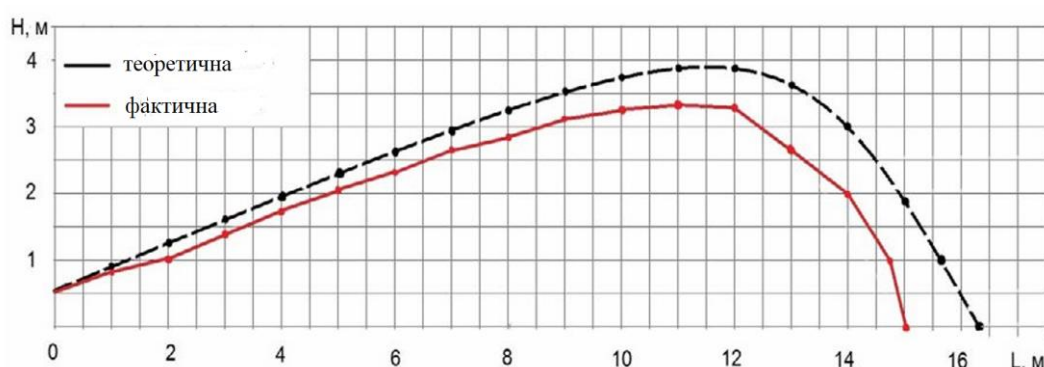


Рисунок 2.11 – Траєкторія польоту частки добрив під час роботи з плоскими лопастями

Проте, видно суттєву розбіжність результатів теоретичних розрахунків та фактичної траєкторії. Пояснити це можна неврахованими у теорії погодними умовами та знаходженням частки в потоці.

Викид добрив лопастями з бортами дозволив підвищити дальність вильоту частки до 16 м з одночасним збільшенням висоти траєкторії (Рис. 2.12).

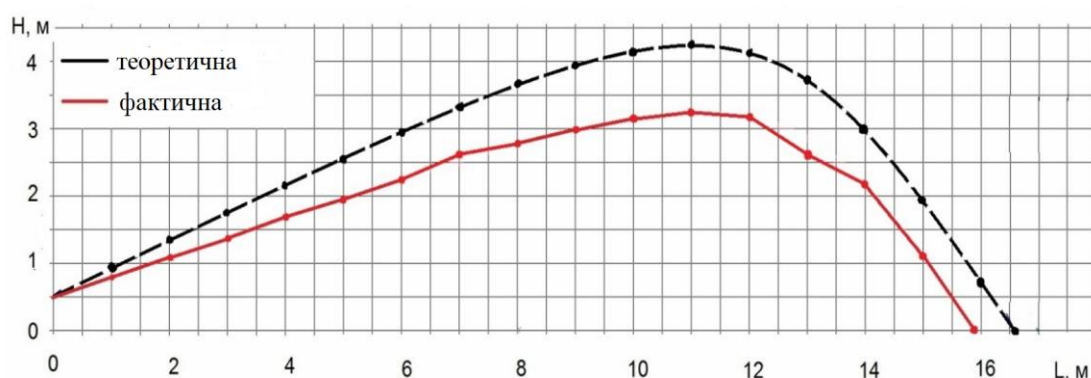


Рисунок 2.12 – Траєкторія польоту частки добрив під час роботи лопастей із бортами

Під час роботи розкидача з жолобоподібними lopастями результати показали не значну розбіжність (Рис. 2.13), порівняно з попередніми дослідями. В даному випадку фактична дальність перевищила теоретичну і склала 18 м. Потік добрив став візуально щільнішим на виході, що спричинило збільшення дальності розсіву добрив.

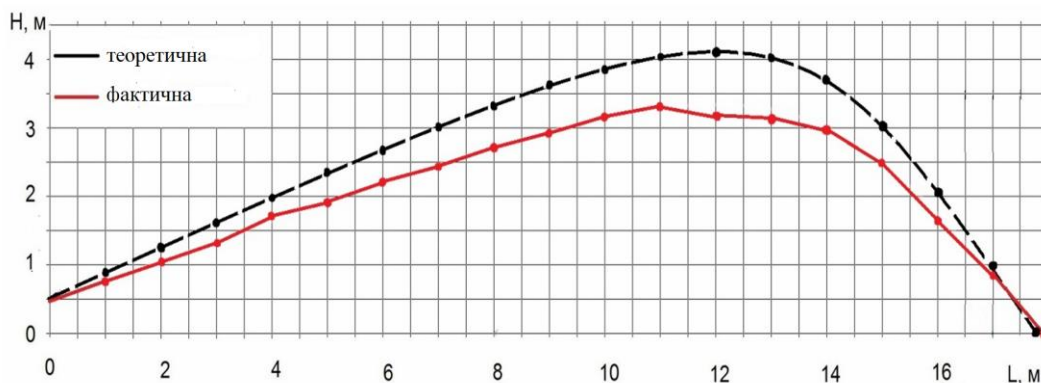


Рисунок 2.13 – Траєкторія польоту частки добрив під час роботи з жолобоподібними lopастями

Проаналізувавши всі три графіки траєкторій, можемо сказати, що вплив на дальність вильоту добрив надає не лише швидкість, а й форма лопасті, що формує їх потік. Чим щільніший потік, тим менше частка піддається парусності.

Далі для всіх видів лопастей здійснили перевірку точності заданої дози внесення. Для цього під вивантажувальне вікно підстелили лист брезенту та запустили механізм викиду добрив. Ротор працював 60 секунд, після чого всі добрива, які випали, по черзі зважили й визначили дозу внесення добрив.

Ступінь нерівномірності по довжині смуги розсіву для трьох видів лопастей визначали на стаціонарі у триразовій повторності. Для цього, згідно з методикою описаною в [2], за приблизною довжиною та шириною смуги розсіву встановили кювети 0,5 x 0,5 м. Після завантаження кюветів, по черзі зважуючи і фіксуючи результат, здійснили обчислення за допомогою програми Microsoft Office Excel.

На рис. 2.14 показано характер розподілу добрив на кожен метр довжини смуги розсіву.

Коефіцієнт варіації розподілу добрив склав, для плоских лопастей – 17,3%, для лопастей з бортами – 15,7%, жолобоподібних – 14,2%.

Жолобоподібні лопасті сприяють найбільшій рівномірності розподілу добрив, проте при візуальному спостереженні процесу внесення добрив на ділянці з 6 м помітно сильне розшарування потоку та поява вертикального віяла частинок. Це підтверджують і результати розрахунків нерівномірності в зоні розсіву. Так, крива має різкий стрибок в бік збільшення дози на даній ділянці. Потік добрив втрачає свою щільність, у зв'язку з чим їх швидкість падає й відбувається переповнення добривами даної площі (Рис. 2.14).

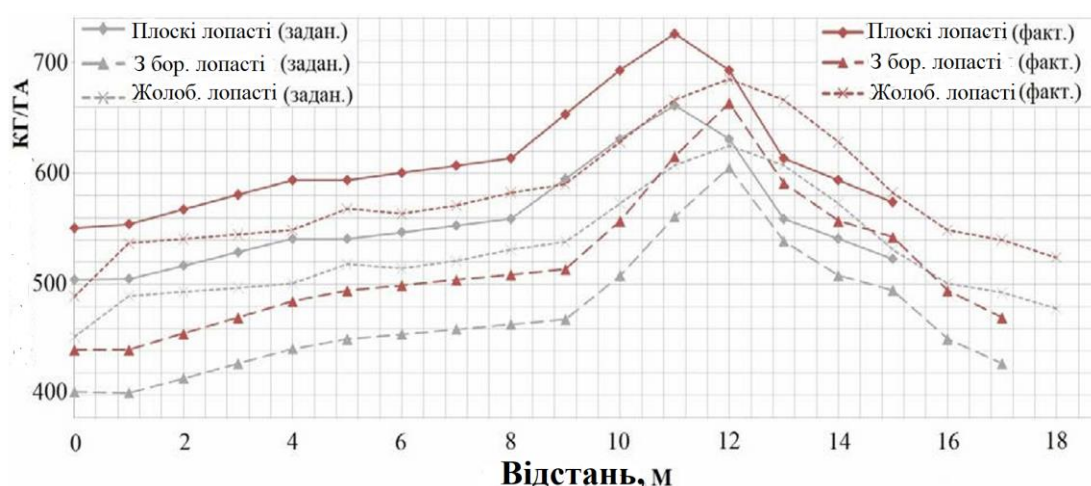


Рисунок 2.14 – Характер розподілу добрив

Дослідження роботи розкидача органічно-мінеральних добрив дозволили встановити найбільш підходящу для досягнення максимальної робочої ширини форму лопастей. Жолобоподібна форма дозволяє концентрувати масу добрив у центрі лопасті, утворюючи більш щільний потік, порівняно з іншими. Проте, відсутність пристрою коректування спрямування потоку, призводить до викиду різнорідних фракцій по різних траєкторіях. Створюється вертикальний віяловий розподіл часток на віддалених ділянках, що призводить до неприпустимого за агровимогою значення коефіцієнта варіації – 14,2%. Даний ефект можна усунути шляхом встановлення дефлектора, що коригує потік добрив.

Висновки по розділу

Таким чином, нами здійснено опис конструктивної схеми удосконаленого робочого органу розкидача органічно-мінеральних добрив та проведені

експериментальні дослідження відносно форми робочого органу та його показників роботи.

Відповідно до досліджень форми лопастей та кута їх встановлення підтверджено ефективність використання жолобоподібної лопасті з кутом встановлення вперед на 12° . Ця конфігурація забезпечує найменший відсоток дроблення – 5% і найбільшу швидкість вильоту частки (42 м/с).

За результатами досліджень, також встановлено перевагу використання розкидача з жолобоподібними лопастями та дефлектором параболічної форми. Дані параметри дозволяють дотримати необхідний ефект варіації – 10%, при цьому сприяють зменшенню вертикального віялового розподілу, ущільненню потоку, який розкидається та зниження пікових точок траєкторії польоту частинок добрив до 2,8 м, не зменшуючи при цьому робочу ширину розкидача – 18 м.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Організація охорони праці в аграрних господарствах.

Відповідно до Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві систему організації охорони праці аграріїв слід розділити на декілька складових [5]:

- вимоги безпеки до виробничого обладнання та організації робочих місць;
- безпека праці під час експлуатації сільськогосподарської техніки;
- поводження з мінеральними добривами та пестицидами, їх зберігання та використання;
- вимоги безпеки під час обробітку ґрунту, сівби й догляду за посівами під час збирання та зберігання продукції рослинництва;
- безпека праці під час збирання та заготівлі соломи, сіна, сінажу й силосу;
- вимоги безпеки під час одержання продукції тваринництва, правила поводження з тваринами;
- пожежна безпека та робота з електроприладами.

Документи з охорони праці, які мають бути в сільськогосподарському господарстві:

- накази, положення, переліки та інші акти з охорони праці, що діють у межах господарства та встановлюють правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, робочих місцях відповідно до нормативно-правових актів з охорони праці;
- посадові інструкції, інструкції з охорони праці за професіями та видами робіт, правила внутрішнього трудового розпорядку;
- порядок і графік проведення навчань та перевірки знань з питань охорони праці працівників та спеціалістів.

Залежно від наявної матеріально-технічної бази власник (керівник) господарства повинен отримати в територіальних органах Держпраці дозвільні

документи або задекларувати роботи підвищеної небезпеки. Також до його основних обов'язків належить [5]:

- забезпечення фінансування й організація проведення попереднього (під час прийняття на роботу) та періодичних (протягом трудової діяльності) медичних оглядів працівників, зайнятих на важких роботах, роботах із шкідливими чи небезпечними умовами праці або таких, де є потреба у професійному доборі;

- забезпечення працівників спецодягом, іншими засобами індивідуального захисту, мийними та знешкоджувальними засобами.

Відповідно до чинних нормативно-правових актів для організації охорони праці повинна бути створена служба охорони праці або хоча б призначена відповідальна особа. Але якщо чисельність працюючих у фермерських господарствах мала – їх слід перевести на самоорганізацію техніки безпеки та охорони праці. У процесі самоорганізації охорони праці всі обов'язки, пов'язані з технікою безпеки, навчанням, підвищенням кваліфікації покладено на самого господаря.

3.2. Заходи з охорони праці під час роботи з машинами для розкидання добрив.

Охорона праці при роботі з машинами для розкидання мінеральних та органічних добрив включає комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на запобігання отруєнням, травматизму та вибухонебезпечним ситуаціям. Робота з цими машинами класифікується, як небезпечна через токсичність добрив, пилоутворення та рухомі частини механізмів [5].

1. Загальні вимоги та допуск до робіт:

- до роботи допускаються особи не молодші 18 років, що пройшли медогляд, спеціальне навчання та інструктаж.

- персонал повинен мати посвідчення на право роботи з агрохімікатами.

- має проводитися навчання про токсичну дію хімікатів та методи безпечної роботи.

2. Засоби індивідуального захисту:

Працівники повинні бути забезпечені та використовувати:

- спецодяг та спецвзуття;
- респіратори або протигази для захисту органів дихання від пилу;
- захисні окуляри та рукавички для захисту очей та шкіри від опіків;
- протипилові маски (особливо при завантаженні бункера).

3. Техніка безпеки при підготовці та завантаженні:

- завантаження добрив має бути максимально механізоване (наприклад, навантажувачами);

- використовувати машини з пристроями для зниження пилоутворення;
- забороняється перебувати під вантажем або в зоні руху навантажувача;
- забороняється використовувати тару з-під добрив для побутових потреб.

4. Техніка безпеки під час роботи в полі:

- не допускати сторонніх осіб до машини під час роботи;

- всі налаштування, очищення від добрив, що налипли, та технічне обслуговування проводяться лише при зупиненому двигуні трактора та вимкненому валі відбору потужності;

- при роботі у вітряну погоду використовувати вітрозахисні пристрої для зменшення рознесення добрив;

- забороняється сідати на машину або сходити з неї на ходу;
- слідкувати за стійкістю агрегату; уникати крутих схилів.

5. Особливості роботи з аміачними добривами:

- перед роботою перевірити герметичність цистерн та справність запірної апаратури;

- аміаковози повинні бути обладнані заземлювачами;

- не зберігати аміачну селітру поруч з органічними матеріалами (торф, солома) через ризик вибуху.

6. Після закінчення роботи необхідно виконати наступні дії:

- машини, кузови та робочі органи очистити і промити водою;

- після роботи з пестицидами провести знешкодження (наприклад, 25% розчином хлорного вапна).

- працівники повинні прийняти душ, змінити одяг.

Основні заборони: працювати на несправній техніці; здійснювати ремонт із працюючим двигуном; перевозити людей у кузові розкидача; працювати без засобів індивідуального захисту.

Висновки по розділу

Таким чином, незалежно від обсягу виробництва та кількості працюючих, керівник аграрного господарства повинен усвідомлювати необхідність створення безпечних та здорових умов праці для працюючих, для попередження виробничого травматизму й професійних захворювань у порядку, встановленому чинним законодавством. Всі працівники мають дотримуватись правил поводження з усіма сільськогосподарськими машинами, зокрема і розкидачами добрив.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

Економічна оцінка агрегату в роботі була проведена за методикою [11], у цінах сформованих за період 2025 р. Для порівняння використовували машину МБУ-5, яка за принципом роботи, металоємності та об'єму кузова збігається з дослідною низькорамною машиною.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для визначення економічної ефективності

Показники	МБУ-5	Низькорамний розкидач
Завантаження машини на внесення ОМД, люд.-год.	650	650
Вартість машини, грн.	504360	523800
Марка та тяговий клас трактора	МТЗ-82	
Вартість трактора, грн.	1269000	
Продуктивність розкидача, га/год.	13	19,28
Витрата палива, кг/га.	3,6	3,24
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1	1

По металоємності, вузлах та деталях дослідна і базова машини схожі, але в низькорамному розкидачі додаткові витрати припадають на купівлю та монтаж двох гідроциліндрів, колінчастої осі та стабілізуючого пристрою.

Продуктивність за 1 годину змінного часу визначали за формулою:

$$W_{зм} = 0.1 \cdot B_p \cdot V_h \cdot \tau, \quad (4.1)$$

де B_p – ширина захвату розкидача, м; V_p – швидкість руху агрегату, км/год; τ – коефіцієнт використання часу зміни, що дорівнює 0,5 ... 0,65 [11].

Витрати потужності на привід робочих органів МБУ-5 становлять 21,7 кВт [11]. В результаті експерименту з'ясувалося, що витрати потужності на привід низькорамного розкидача становлять 29 кВт.

Дотримуючись алгоритму, викладеного в методиці визначення економічної ефективності, визначимо прямі експлуатаційні витрати (грн./га.) за формулою;

$$I = З + П + Р + А + \Phi, \quad (4.2)$$

де Z – витрати на оплату праці персоналу, грн./га; Π – витрати на ПММ, грн./га; A – витрати на амортизацію, грн./га; Φ – інші витрати, грн.

Витрати на оплату праці персоналу визначалися за формулою:

$$Z = \frac{1}{W_{3M}} \cdot L \cdot \tau_{оп} \cdot k_e, \quad (4.3)$$

де L – кількість персоналу даного розряду, чол; k_e – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату, грн.; $\tau_{оп}$ – оплата праці обслуговуючого персоналу, грн.

Витрати на ПММ визначили за формулою:

$$\Pi = q_{га} \cdot \Pi_T, \quad (4.4)$$

де Π_T – ціна за 1 кг палива в комплексі зі змащувальними матеріалами.

Витрати коштів на ТО та ремонт визначили за формулою:

$$P = \frac{B \cdot r_p}{W_{3M} \cdot T_3}; \quad (4.5)$$

де r_p – коефіцієнт відрахувань на ТО та ремонт, що дорівнює 0,11 [11]; B – вартість машини, грн.; T_3 – річне завантаження машини, год.

Витрати на амортизацію знаходили за формулою:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{3M} \cdot T_3}, \quad (4.6)$$

де a – відсоток відрахувань на амортизацію дорівнює 0,167 [11].

Необхідно також визначити витрати на внесення органічно-мінеральних добрив (люд.-год./га):

$$Z_T = \frac{L}{W_{3M}}, \quad (4.7)$$

Капітальні вкладення по машині розраховували за формулою:

$$K = \frac{B}{W_{3M} \cdot T_3}, \quad (4.8)$$

Річний економічний ефект визначали за формулою:

$$E_p = B_3 \cdot (\Pi_6 - \Pi_e + E), \quad (4.9)$$

де E – економічний ефект від якості виконання робіт грн./га; B_3 – річне напрацювання нової машини, грн.; Π_6 і Π_e – наведені витрати по базовій та експериментальній машинах, грн./га, визначаються за формулою:

$$\Pi = I + KE, \quad (4.10)$$

де E – нормативний коефіцієнт капіталовкладень, що дорівнює 0,15.

Основні показники економічної ефективності при використанні низькорамної машини для внесення гранульованих органічно-мінеральних добрив представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Показники економічної ефективності

Показники	Значення		Економія, %
	МВУ-5	Дослідний розкидач	
Витрати на амортизацію, грн./га	9,96	6,98	30
Витрати на ПММ, грн./га	32,36	30,81	4
Витрати на ТО та ремонт, грн./га	6,55	4,59	30
Витрати на оплату праці, грн./га	11,36	7,44	33
Капіталовкладення, грн./га	59,68	41,79	30
Наведені витрати, грн./га	68,88	56,32	18
Річний економічний ефект, грн.	157406		

З таблиці видно, що використання нового технічного рішення є економічно вигідним на що вказує річний економічний ефект, який дорівнює 157406 грн.

Висновки по розділу

Таким чином, економічна оцінка роботи нового розкидача при внесенні органічно-мінеральних добрив показала його перевагу в продуктивності на 33%, в порівнянні з аналогічною серійною машиною.

Річний економічний ефект від застосування дослідного низькорамного розкидача становить 157406 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Таким чином, за результатами здійснених досліджень в даному дипломному проекті нами сформовані наступні висновки:

1. З досліджень визначено, що при внесенні гранульованих органічно-мінеральних добрив доцільне застосування кузовного низькорамного розкидача з пневмомеханічними робочими органами на горизонтальній осі обертання.

2. За результатами досліджень встановлено, що робочий орган нового розкидача має мати форму жолобоподібних лопастей та дефлектор параболічної форми. За таких параметрів досягається найкраще виконання розкидання добрив. При цьому, дані параметри дозволяють дотримати необхідний ефект варіації – 10%, що сприяють зменшенню вертикального віялового розподілу, ущільненню потоку, який розкидається та зниження пікових точок траєкторії польоту частинок добрив до 2,8 м, не зменшуючи при цьому робочу ширину розкидача – 18 м.

3. Наведені заходи з охорони праці в аграрних господарствах та правила експлуатації машин для розкидання добрив. Працівники в обов'язковому порядку мають їх дотримуватися для запобігання виробничих травм під час роботи із сільськогосподарськими машинами.

4. Виконано техніко-економічну оцінку модернізованої машини. Дана оцінка показала перевагу удосконаленого розкидача органічно-мінеральних добрив в порівнянні з аналогічною серійною машиною. Так, як його продуктивність більша на 33%, а річний економічний ефект становить 157406 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бровченко О.Д. Удосконалення технології та конструкції робочих органів для внесення твердих органічних добрив. *Удосконалення технологій та технічних засобів механізації сільського господарства: Збірник наукових праць*. 2003. С. 103–106.
2. Буклагина Г.В. Технологія та технічний засіб для підготовки гранульованих мінеральних добрив, що злежалися: подрібнювачі барабанного типу. *Інженерно-технічне забезпечення АПК*. 2010. №2. С. 48–58.
3. Губарєв Є.А. До визначення дальності польоту добрив і ширині захвату розкидачів. *Механізація та електрифікація сільськогосподарського виробництва*. 1997. Вип. 26. С. 130–136.
4. Дячков О.П. Зниження енергетичних витрат та нерівномірності внесення твердих органічних добрив. *Техніка в сільському господарстві*. 2012. № 4 С. 8–10.
5. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>. (Дата звернення: 22.01.2026).
6. Левченко Г.В. Стан завантаження органічних добрив у сільському господарстві. *Міжнародний науково-дослідний журнал*. 2016. № 43. Ч. 3. С. 15–17.
7. Макаров В.А. Раціональна технологія внесення добрив. Проблеми механізації агрохімічного забезпечення сільського господарства. 2013. № (4). С. 246–250.
8. Макаров В.А. Технічні засоби для внесення добрив. *Проблеми механізації агрохімічного забезпечення сільського господарства*. 2015. № 7. С. 62–69.
9. Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук Ю.О. Інструктивно-методичні матеріали до виконання дипломних проектів студентами спеціальності 208 «Агроінженерія» першого освітнього рівня (бакалаврського). Умань : УНУС, 2020. 27 с.
10. Сільськогосподарські машини. Електронний підручник. URL: <https://rafk.if.ua/ebook/sgmash/Index.htm>. (Дата звернення: 20.02.2026).

11. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки. ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23730-88.

12. Krupp G. Beitrag zur Vorfusschätzung des erforderlichen Traktorenbestands für Bodenbearbeitung und Bestellung. *Agrartechnik*, 1996. № 3. P. 126–127.

13. Rohde M., Matzold Q. Zur Ausnutzung der Zeitfonds beim Maschineneinsatz in der Pflanzenproduktion. *Agrotechnik*, 1996. № 8. P. 362–363.