

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.01 - МР.1943 "С" 2022.30.12. 025 ПЗ

КАЧУНЬ ТАРАС ЮРІЙОВИЧ

2023 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

УДК 631.333

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко – технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Сільськогосподарських машин та
(назва кафедри)
системотехніки ім. акад. П.М. Василенка

Вячеслав БРАТШКО

(підпис)

(ПІБ)

Юрій ГУМЕНЮК

(підпис)

(ПІБ)

«___» _____ 2023 р.

«___» _____ 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Обґрунтування параметрів роторного розкидача органо-мінеральних
добрив

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

Доктор технічних наук, професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Братшко Вячеслав Вячеславович
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц. каф.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Деркач Олексій Павлович

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Качунь Тарас Юрійович
(ПІБ)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Сільськогосподарських машин та
системотехніки ім. акад. П.М. Василенка

К.Т.Н., доц.

Юрій ДУМЕНЮК

(науковий ступінь, виступ звання)

(підпис)

(ПІБ)

« »

2023р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Качунь Тарасу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Обґрунтування параметрів роторного розкидача
органомінеральних добрив

затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» грудня 2023 р. № 1943 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Науково – технічна література: результати
науково-дослідних робіт по літературних джерелах по параметрах роторних розкидачів органомінеральних добрив

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Сучасний стан механізації внесення твердих мінеральних добрив
2. Дослідження технологічного процесу внесення органомінеральних добрив
3. Програма і методика експериментальних досліджень
4. Результати та аналіз лабораторних і польових досліджень
5. Розрахунок економічної ефективності

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 22 слайдах

Дата видачі завдання «11» листопада 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Деркач О.П.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Качунь Т.Ю.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 50 найменувань. Основна частина роботи викладена на 87 сторінках, містить 44 рисунків і 10 таблиць.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення рівномірності поверхневого внесення органо-мінеральних добрив шляхом вдосконалення функціональної структури, оптимізації конструктивних параметрів і режимів роботи дискового апарату.

Предметом дослідження є закономірності процесу розподілу органо-мінеральних добрив дисковим апаратом.

Об'єктами дослідження є технологічний процес внесення органо-мінеральних добрив, дисковий апарат, властивості добрив.

Для досягнення поставленої мети поставлені такі завдання:

- проаналізувати основні фізико-механічні властивості добрив, котрі впливають на дальність польоту і рівномірність їх розподілу по поверхні поля;
- дослідити процес і встановити якісні показники розсіювання органо-мінеральних добрив відцентровим робочим органом;
- обґрунтувати раціональні параметри робочого органу розкидача органо-мінеральних добрив;
- встановити на основі порівняльних досліджень агротехнічні і техніко-економічні показники експериментального і серійного розсіювальних робочих органів розкидача мінеральних добрив;
- розробити рекомендації по застосуванню відцентрового розкидача на серійних машинах для внесення органо-мінеральних добрив;
- провести техніко-економічне обґрунтування доцільності практичного використання запропонованого пристрою.

Ключові слова: машина, органо-мінеральні добрива, робочий орган, розкидач.

| | | |
|---|--------------|----------|
| | ЗМІСТ | |
| РЕФЕРАТ | | 3 |
| ЗМІСТ | | 4 |
| ВСТУП | | 6 |
| РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН МЕХАНІЗАЦІЇ ВНЕСЕННЯ | | |
| ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ 9 | | |
| 1.1. Аналіз існуючих технологій, агрозаходів, процесів..... | | 9 |
| 1.2. Агротехнічні вимоги для виконання процесу..... | | 15 |
| 1.3. Фізичні, біологічні і механіко-технологічні властивості матеріалу.. | | 18 |
| 1.4. Аналіз огляду літературних та патентних джерел існуючих конструкцій для внесення органо-мінеральних добрив..... | | 19 |
| РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ | | |
| ВНЕСЕННЯ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ 32 | | |
| 2.1. Формування концепції робочого органу..... | | 32 |
| 2.2. Рух гранули після сходу із поверхні диска із урахуванням дії вітру | | 38 |
| РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ | | |
| ДОСЛІДЖЕНЬ 44 | | |
| 3.1. Програма експериментальних досліджень..... | | 45 |
| 3.2. Характеристика вихідного матеріалу..... | | 45 |
| 3.2.1. Параметри розподілу гранулометричного складу..... | | 45 |
| 3.3.2. Механіко-технологічні властивості добрив..... | | 46 |
| 3.3. Лабораторні дослідження..... | | 49 |
| 3.3.1. Конструкція лабораторної установки..... | | 49 |
| 3.3.2. Порядок виконання досліджень..... | | 51 |
| 3.3.3. Методика статистичної обробки результатів досліджень..... | | 52 |
| 3.4. Польові випробування..... | | 53 |
| РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ЛАБОРАТОРНИХ І | | |
| ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ 56 | | |
| 4.1. Механіко-технологічні властивості використаних у експерименті | | |

| | |
|---|-----------|
| добрив..... | 56 |
| 4.2. Лабораторні дослідження впливу конструктивних параметрів диску та потоку повітряного на якість розподілу добрив по поверхні..... | 57 |
| 4.2.1. Кути постановки напрямних ребер на лопатях приймаємо однаковими..... | 58 |
| 4.2.2. Вплив кутів постановки ребер, що направляють потік..... | 63 |
| 4.2.3. Вплив потоку повітряного на розподіл гранул..... | 67 |
| 4.3. Результати польових випробувань..... | 67 |
| 4.4. Порівняння результатів, отриманих аналітичним і дослідним шляхом..... | 72 |
| РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ..... | 74 |
| ВИСНОВКИ..... | 81 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 83 |

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

НУБІП України

Рациональна переробка відходів різного походження на органічні та органо-мінеральні добрива (ОМД) сприятиме підвищенню продуктивності рослинництва й родючості ґрунтів, зниженню антропогенного навантаження на довкілля.

НУБІП України

Рациональна переробка відходів різного походження на органічні та органо-мінеральні добрива сприятиме підвищенню продуктивності рослинництва й родючості ґрунтів, зниженню антропогенного навантаження на

НУБІП України

довкілля. Залучення відходів господарської діяльності у біохімічний кругообіг сприяє, із одного боку, їхній утилізації, а із другого, розширенню сировинної

НУБІП України

бази для виробництва нових добрив. На сьогодні створюються підприємства, котрі переробляють відходи різного походження, розробляються способи прискореного компостування та технології виробництва комплексних органо-біомінеральних добрив. Багатьма дослідженнями, котрі проведені у різних країнах, встановлено, що ці добрива мають екологічні, агрохімічні та економічні переваги порівняно зі стандартними формами добрив.

НУБІП України

Різноманітність джерел відходів диктує потребу розробки гнучкого підходу до їхньої переробки. Простежуються дві тенденції. Перша: у великих містах створюються підприємства заводського типу, котрі оснащені сучасним обладнанням (біореактори, ферментери тощо). Друга: виникає необхідність

НУБІП України

переробки відходів на дрібних підприємствах невеликих міст та сільської місцевості, на яких даний технологічний процес відбувається за простими схемами.

НУБІП України

Але, на жаль, на сьогодні комерційні підприємства у більшості випадків виготовляють органічні, органо-мінеральні добрива, ґрунтосуміші тощо, обходячись без наукового забезпечення й не контролюючи їхньої якості за чинною у Україні нормативно-методичною документацією у атестованих лабораторіях із відповідною галуззю акредитації.

В інституті розробляються технології виробництва добрив нового типу, у основу яких покладено концептуальну модель формування гумусових сполук у процесі біокондиціонування органічних відходів та концептуальні положення одержання комплексних органо-мінеральних добрив. Технологічний процес складається із кількох основних етапів:

- первинне кондиціонування та синхронізація вихідного органічного матеріалу;
- кероване аерокондиціонування органо-мінеральної пульпи;
- збагачення органічного компоненту стартовою дозою комплексу поживних речовин.

На початковому етапі відбувається підготування органічного матеріалу, яке об'єднує такі процеси: вибір та дозування органічного матеріалу для оптимізації параметрів вихідної органічної суміші, подрібнення, синхронізація (зволоження й змішування) й первинне кондиціонування.

Аерокондиціонуванням передбачається одержання стабільної маси, збагаченої фізіологічно активними речовинами (гумінові кислоти) та біогенними елементами (N, P, K, Ca, Mg тощо), значна частина яких зв'язана із гуміфікованою органічною речовиною у органо-мінеральному комплексі, що

перешкоджає вимиванню й подальшій ретроградації поживних речовин у ґрунті після внесення добрив. Для оптимізації живлення рослин на початковому етапі їхнього росту й розвитку до одержаної кондиціонованої субстанції додається стартова доза поживних речовин, яка забезпечує повноцінне живлення рослин

на перших етапах розвитку. Подальші етапи забезпечуються поживними елементами, котрі вивільняються у процесі мінералізації органічної складової органо-мінеральних добрив.

Технологія дає змогу розширити функціональні можливості мінеральних і органічних компонентів, меліорантів, мікробіологічних додатків та забезпечити енергетичну самодостатність процесів, підвищення якості й екологічної цінності добрив нового покоління. Добрива мають такий склад і зміст поживних речовин, у якому враховано особливості конкретної культури й

грунтово-кліматичні умови її вирощування. За відповідною методикою розроблено нормативи якості органо-мінеральних добрив (рецептура) та нормативи внесення їх під зернові, технічні, кормові й овочеві культури у різних ґрунтово-кліматичних умовах вирощування (Полісся, Степ, Лісостеп України).

Наукою та практикою доведено [5], що для досягнення максимальної ефективності добрив необхідно виконання наступних вимог до техніки їх внесення:

- рівномірне розташування добрив по площі поля;
- скорочення тривалості термінів від внесення добрив у ґрунт до початку використання їх рослинами;
- обмеження ступеню переміщення водорозчинних форм добрив із ґрунтом;
- оптимальна глибина загортання добрив у ґрунт;
- оптимальне просторове розміщення добрив відносно посівних рядків (кореневої системи рослин).

Нерівномірний розподіл добрив на поверхні поля зумовлює строкатість урожайності, різні строки дозрівання культур, вилягання, погіршення якості продукції. Розвиток машин для внесення добрив сприятливий. У першу чергу, у напрямку підвищення ефективності застосування добрив шляхом поліпшення якості їх розподілу по поверхні ґрунту. Понад 90% сучасних машин для внесення добрив обладнують відцентровими розсівальними робочими органами, котрі успішно вносять гранульовані органо-мінеральні добрива і хіммеліоранти. Машини для внесення мінеральних добрив повинні досить точно (рівномірно) їх вносити. На сьогодні деякі параметри внесення є занадто великі, так нерівномірність по ширині захвату у машин вітчизняного виробництва досягає 60-80%, що призводить до зниження ефективності. Таким чином, обґрунтування конструкції та параметрів відцентрового робочого органу машини для внесення добрив є актуальною задачею [1-5].

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН МЕХАНІЗАЦІЇ ВНЕСЕННЯ ТВЕРДИХ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

НУВБІП України

1.1. Аналіз існуючих технологій, агрозаходів, процесів

На сучасному етапі і у найближче десятиріччя основну масу органо-мінеральних добрив (ОМД) вноситимуть шляхом їх розсівання по поверхні поля як при основному удобренні ґрунту, так і при підживленні сільськогосподарських культур. У виробництві паралельно будуть застосовувати як прямоточну, так і перевантажувальну технологічні схеми.

Спеціалізовані машини для доставки ОМД від їх сховища до поля використовуватимуться в умовах великих обсягів робіт і при груповому методі роботи польових агрегатів. Внесення гранульованих видів добрив малотоннажними машинами начіпного типу буде здійснюватись виключно за перевантажувальною технологічною схемою.

Основними мобільними енергетичними засобами для формування удобрювальних агрегатів будуть трактори. В умовах господарств з великими обсягами землекористування також застосовуватимуться удобрювальні агрегати, сформовані на базі автомобілів. Парк технічних засобів для внесення

ОМД буде формуватись з машин начіпного і напівпричіпного типів, які включатимуть технологічну місткість, живильник, робочі органи і відповідні пристрої. В малотоннажних машинах начіпного типу знайдуть застосування живильники гравітаційного типу, решту машин будуть обладнувати живильниками переважно прутково-пластинчастого типу.

Для комплексного удобрення ґрунту застосовуватимуться машини для одночасного внесення азотних, фосфорних і калійних видів добрив диференційованими дозами без попереднього їх змішування за один прохід агрегату.

У машинах для внесення добрив найбільш широке застосування мають робочі органи відцентрового типу. Машини із зазначеними робочими органами складають до 96% парку технічних засобів для внесення ОМД у провідних

НУВБІП України

країнах світу. Ця тенденція матиме місце і в найближче десятиріччя. Застосування матимуть робочі органи відцентрового типу, в яких зовнішні кінці лопаток виходять за межі дисків. При цьому лопатки на дисках

установлюються з можливістю регульованого повороту відносного радіуса

робочі органи для забезпечення регулювання напрямку розсівання добрив. З метою збільшення робочої ширини захвату знайдуть застосування конусні робочі органи та інші варіанти форм їх конструкційного виконання, в яких лопатки установлені під кутом до горизонтальної площини. На машинах для

внесення ОМД будуть застосовуватись пристрої для регулювання зони

живлення робочі органи, корегуючі пристрої для виключення впливу відбивання добрив кромками та верхніми поверхнями лопаток на якість їх внесення, а також відбивні щитки спеціальної форми.

Існуючі машини вітчизняного виробництва не задовольняють агрономічні

вимоги за показниками нерівномірності внесення ОМД, а робоча ширина їх

захвату менша, ніж у машин зарубіжного виробництва. На сучасному етапі відсутні теоретичні залежності, які б адекватно описували: роботу агрегатів за прямоочною і перевантажувальною технологічними схемами; процес подачі

добрив нижньою ланкою живильника-конвеєра; рух добрив від живильника до

тукоспрямовувача та їх рух вздовж останнього; умови захвату добрив робочі органи, їх розгін останнім з урахуванням його параметрів і режимів роботи; а також рух добрив від робочі органи до поверхні поля в умовах дії на них вітру і супроводжуючого повітряного струменя.

Відомі моделі внесення ОМД на поверхню поля не узгоджуються з реальним процесом і протирічать стандартній методиці визначення нерівномірності їх внесення на робочій ширині захвату машин.

При формуванні робочих гіпотез, завдань досліджень та проведенні безпосередньо досліджень взяті до уваги наукові праці з питань: дослідження

технологічних параметрів машин - Є.В. Козловського, С.І. Назарова, В.І. Якубаускаса, Л.Ф. Кормакова, Ю.Г. Вожика та ін.

Технологічна схема внесення органо-мінеральних та органічних добрив

регламентує їх доставку від сховища до поля стосовно агрегатів, які здійснюють операцію внесення.

В залежності від номенклатури наявних в господарстві технічних засобів, їх кількості, обсягів виконуваних робіт по внесенню добрив, строків їх виконання, відстані від сховища до поля, дози внесення і кадрового забезпечення використовують наступні технологічні схеми внесення добрив: прямоточну, перевантажувальну та перевалочну.

Найбільш простою є прямоточна технологічна схема, при якій добрива, підготовлені до внесення, в умовах сховища завантажують в машини для їх внесення, доставляють добрива в поле і вносять по поверхні ґрунту.

Особливістю перевантажувальної технологічної схеми внесення добрив у порівнянні з прямоточною є те, що добрива доставляють від сховища до поля і перевантажують в польові машини спеціальні технічні засоби, які називають завантажувачами.

Перевалочна технологічна схема внесення добрив передбачає доставку добрив від сховища до спеціально підготовленого в полі майданчика транспортними засобами загального призначення. З майданчика добрива завантажують в польові машини, які вносять їх по поверхні ґрунту.

Реалізація прямоточної схеми внесення добрив у порівнянні з іншими схемами здійснюється мінімальною кількістю технічних засобів при спрощеній організації виконання робіт. В зв'язку з цим 80% добрив для основного удобрення ґрунту і підживлення зернових культур вносять за прямоточною технологічною схемою.

Застосування перевантажувальної технологічної схеми внесення добрив дозволяє різко підвищити змінну продуктивність польових машин. Але для її реалізації польові машини повинні працювати за груповим методом. Необхідно зазначити, що в умовах застосування окремого агрегату, сформованого на базі машини з вантажомісткістю до 1000 кг, виникає протиріччя в зв'язку з тим, щоне раціонально використовувати:

→ прямоточну технологічну схему в зв'язку з різким збільшення

часу на доставку добрив від сховища до поля;

перевантажувальну технологічну схему в зв'язку з неефективним використанням завантажувача.

Назване призводить до того, що в умовах сільськогосподарського виробництва технологічні місткості таких машин завантажують вручну з платформи тракторного причепа.

Перевалочну технологічну схему застосовують при внесенні добрив тільки в критичних випадках, коли не можливе застосування перших двох схем.

Це обмеження викликано тим, що зберігання незатарених добрив в умовах поля може призвести до погіршення їх фізико-механічних властивостей. Збільшення промисловістю поставок добрив в герметичних еластичних мішках або контейнерах дозволить використовувати переваги цієї технологічної схеми, які полягають в зменшенні пікових навантажень на операції транспортування.

На сучасному етапі світовими лідерами по створенню і виробництву машин для внесення органо-мінеральних добрив є фірми ФРН, Франції, США та Великобританії. В кожній з цих країн випускаються десятки марок машин, що дає можливість кожному із споживачів підібрати оптимальний варіант машини, виходячи з площі його орних земель, обсягів застосування органо-мінеральних та органічних добрив, виробничої спеціалізації і навіть з врахуванням суб'єктивних інтересів.

В залежності від виду мобільних енергетичних засобів, з якими агрегатуються машини для внесення органо-мінеральних добрив, їх розподіляють на такі: тракторні, автомобільні, самохідні, мотоциклетні, авіаційні та кінні.

Машини для розсіювання (внесення) органо-мінеральних та органічних добрив включають в основному такі складові технологічну місткість (рис.

1.1.), в нижній частині якої на рівні її днища встановлено живильник, під яким закріплено тукоспрямувач і робочі органи.

Робочий процес таких машин відбувається наступним чином. Добрива з технологічної місткості подаються живильником на тукоспрямувач, яким

вони направляються на робочі органи. Досягши поверхні робочих органів, добрива розганяються ним до певної швидкості. Після розгону добрив робочий орган кидальним способом направляє їх в напрямі робочої ширини захвату. За рахунок одержаної швидкості частинки добрив шляхом вільного польоту від робочих органів до поверхні поля розсіваються на відстані 15-30 м, що у десятки разів перевищує табаритну ширину машин. При цьому робоча ширина внесення добрива сягає 8-20 м.

Для роботи в умовах вітру вітчизняні машини РУМ-3 та І-РМГ-4 на замовлення господарств комплектувалися вітрозахисними пристроями.

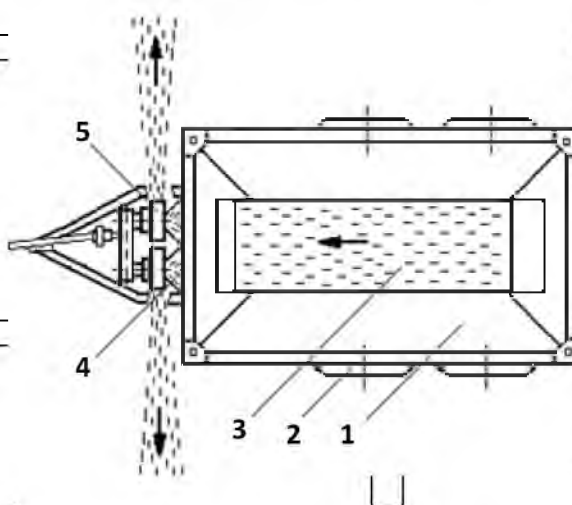


Рис.1.1. Технологічна схема машини для внесення органо-мінеральних добрив СТТ-10:

1 - технологічна місткість; 2 - ходова система; 3 - живильний стрічковий тип; 4 - тукоспрямувач; 5 - робочий орган роторного типу

Багатьма дослідниками проведені роботи по обґрунтуванню доцільності постійного використання вітрозахисних пристроїв з метою покращення якості внесення добрив. Однак таке конструкційне рішення значно обмежує робочу ширину захвату машин, ускладнює їх експлуатацію, особливо при прямооточній технологічній схемі внесення добрив та призводить до зменшення балансу часу основної роботи. В зв'язку з цим вітрозахисні пристрої не знаходять застосування на сучасних машинах, а нормативними документами передбачена оцінка якості внесення добрив тільки в умовах, коли швидкість вітру не перевищує 2 м/с.

Розсіювальні органи (РО) в процесі роботи захоплюють частинки добрив, розганяють їх до певної швидкості, а потім кидальним способом направляють вздовж робочої ширини захвату машини. В залежності від розмірів технологічної місткості, типу і параметрів живильника машина може обладнуватись одним або двома розсіювальними органами.

В якості розсіювального органу розробники машин для внесення добрив використовують лопатевий ротор, еластичну циліндричну чашу з роликком, стрічковий конвеєр, вентилятор, диск з лопатками, коливальний патрубок та систему барабанів. Кожен з вказаних розсіювальних органів використовувався

виробниками машин для внесення добрив. Однак у зв'язку з виявленими недоліками одних і перевагами інших в сучасних машинах знаходять застосування тільки три останні з наведеного переліку. Розсіювальний орган, виконаний у вигляді диска з лопатками, прийнято називати відцентровим, а виконаний у вигляді коливального патрубка - маятниковим.

В машинах провідних фірм передбачається індивідуальне регулювання частоти обертання кожного розсіювального органу, що дозволяє при необхідності отримувати несиметричний характер внесення добрив на краях поля. Спроби створити розсіювальний орган з складною траєкторією руху

диска або лопатки з метою покращення якості внесення добрив не дали бажаного результату, а тільки призвели до суттєвого ускладнення конструкції.

Відносно діаметра розсіювального органу можна сказати, що він в сучасних машинах варіює від 200 до 1000 мм. При виборі цього параметра необхідно враховувати, що його зростання призводить не тільки до збільшення матеріаломісткості машини, а й до зростання його моменту інерції, котрий обумовлює великі динамічні навантаження на деталі механізму привода. В переважній більшості машин розсіювальні органи мають діаметр в межах 500-800 мм і виготовляються з нержавіючої сталі товщиною 1,5-2 мм.

Ширина захвату машин залежить також від форми диска розсіювального органу, яка обумовлює напрямок вектора абсолютної швидкості частинок добрив до горизонту, що сходять з розсіювального органу.

В Українському науково-дослідному інституті механізації та електрифікації сільського господарства було розроблено розсіювальний орган, в якому диск мав форму конуса, спрямованого вершиною вниз (рис. 1.1.) При роботі такого розсіювального органу абсолютна швидкість частинок добрив, які сходять з його поверхні, спрямована під кутом уверх до горизонту. Це дало можливість підвищити робочу ширину захвату без збільшення діаметра і частоти обертання розсіювального органу. Однак слід зауважити: кут нахилу твірної конуса до його основи складав лише 3° , що не забезпечувало повної реалізації потенційних можливостей такого розсіювального органу.

Аналогічний розсіювальний орган, але із збільшеним кутом нахилу твірної конуса, німецька фірма «Amazonen-Werke» розробила лише через 13 років.

У вітчизняних машинах МВУ-5 і МВУ-8 застосовували розсіювальні органи, твірна конусної поверхні яких була розташована під кутом 10° до горизонту.

Однак ці рішення не забезпечили суттєвого ефекту у порівнянні з конусним диском і тому вони не мають практичного застосування.

1.2. Агротехнічні вимоги для виконання процесу

Вимоги до якості внесення ОМД.

1. Якість внесення добрив характеризується наступними показниками: відповідність фактичної дози добрив від заданої; рівномірність розсіювання добрив по поверхні ґрунту.

2. При внесенні тукосумішей для оцінки якості розташування їх по поверхні ґрунту на ряду з перерахованими показниками, використовують додатковий показник, який характеризує зміни співвідношення поживних речовин $N:P_2O_5$, $N:K_2O$ та $P_2O_5:K_2O$ на дослідних площах розміром $0,5 \times 0,5$ м.

3. У відповідності до агротехнічних вимог фактична середня доза добрив повинна відрізнятись від заданої не більше ніж на $\pm 10\%$.

4. Показник нерівномірності внесення добрив (який оцінюється коефіцієнтом варіації) в виробничих умовах при оцінці якості внесення органо-

мінеральних добрив авіаційною технікою та машинами з відцентровими розсіювальними апаратами не повинні перевищувати 25% і 15% для ґрунтових сівалок, а при розсіюванні хімічних меліорантів пневморозкидачами типу АРУП- 8 він не повинен бути більш 30%. Не допускаються розриви між суміжними проходами машин і необроблені ділянки поля. Перекриття в стикових проходах повинно складати 5% від ширини захвату агрегату. Поворотні полоси засівають добривами з тією ж нормою висіву, що і основне поле.

Дуже важливо визначити оптимальну дозу добрив, яка забезпечить отримання запланованого врожаю. Чим вище планується врожай, тим більша передбачається доза добрив. При цьому слід враховувати, що відсутня пряма пропорційність між збільшенням дози добрив та підвищенням врожаю. Ми можемо спостерігати графічну залежність підвищення врожайності від внесеної діючої речовини на 1 га.

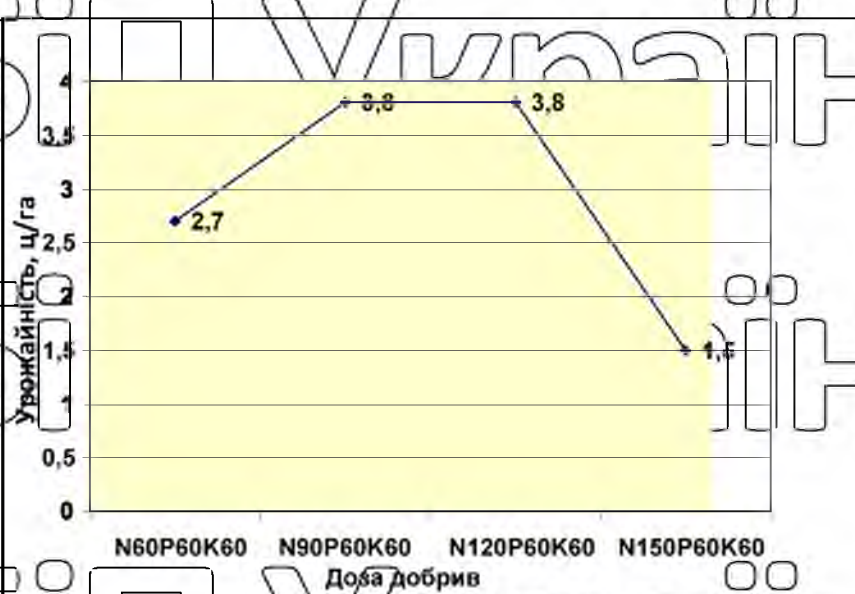


Рис. 1.2. Приріст урожаю від дози внесення азотних добрив.

Правильне та ефективне використання добрив сприяє не тільки отриманню високого врожаю, а і покращення його якості, що призводить до збільшення виробництва сільськогосподарської продукції.

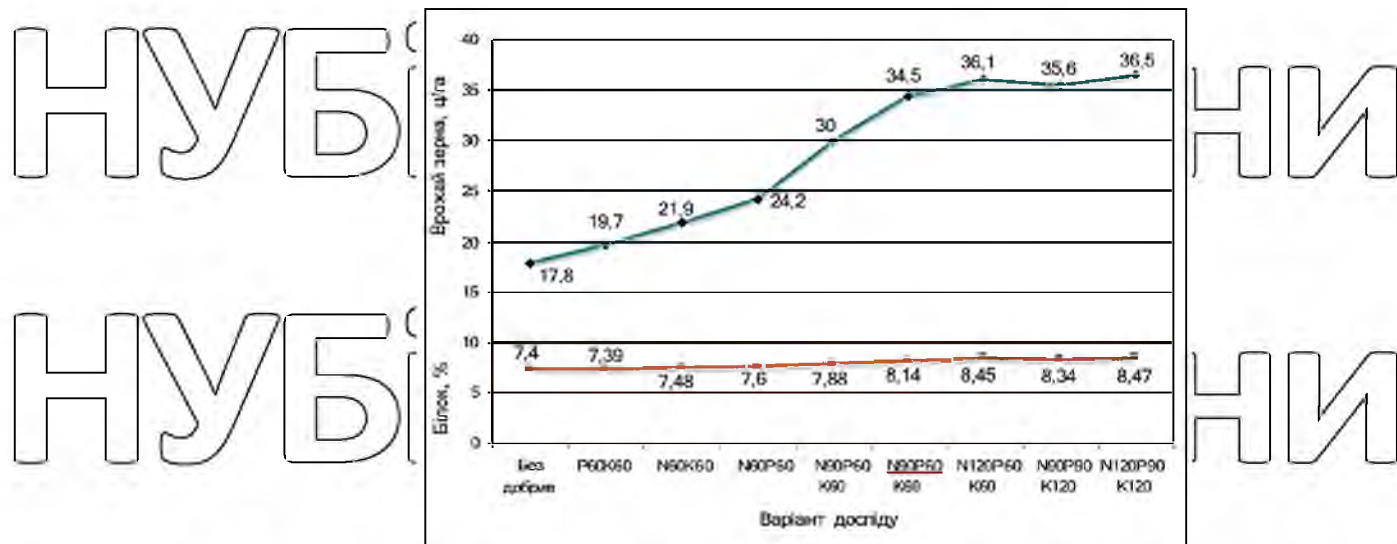


Рис. 1.3. Вплив органо-мінеральних добрив на врожай зерна озимого жита та вміст у ньому білку.

Традиційна технологія внесення добрив не повністю відповідає цим вимогам. Вона складається з двох самостійних операцій: розкидання добрив по поверхні поля та загортання їх у ґрунт. Перша операція виконується головним чином з допомогою відцентрових розкидачів, яким властива висока продуктивність, дешевизна у виготовленні і експлуатації, обладнаних об'ємними кузовами, зручними для механізованого завантаження.

Відцентрові апарати характеризуються значною сепарацією однобічних добрив на фракції, а змішаних – на компоненти. Широкому розповсюдженню розкидачів сприяє простота конструкції, мала питомість металемісткості, висока їх продуктивність та надійність технологічного процесу. Нерівномірність досягає 60-80%, що приводить до зниження ефективності азотних добрив на 45- 50%, фосфорних на 15%, калійних та складних на 36-40%. Значна нерівномірність розподілу органо-мінеральних добрив за шириною захвату розкидачів відцентрового типу пояснюється балістичними властивостями часток добрив, а тому з підвищенням агротехнічних вимог застосування обмежується. Все це зумовило спроби удосконалити відцентрові апарати застосуванням конічних дисків, лопаток з різною довжиною і змінного перерізу загостреної форми; встановленням дисків у кілька ярусів, з перекриттям нахилом до горизонту і на значній висоті над землею; створення

вітрозахисних пристроїв спеціального профілю тощо.

Основними вимогами по внесенню органо-мінеральних добрив є:

➤ нерівномірність внесення робочої суміші 10% по ходу руху агрегату та 20% по ширині захвату.

➤ середня доза добрив повинна відрізнятись від заданої не більше ніж на $\pm 10\%$.

1.3. Фізичні, біологічні і механіко-технологічні властивості матеріалу

Всі фізико-механічні властивості добрив змінюються в широких межах і в більшості випадків взаємозв'язані між собою. Зі всіх фізико-механічних властивостей добрив, що впливають на процес їх розподілу по поверхні поля, необхідно виділити: гранулометричний склад, коефіцієнт тертя, коефіцієнт парусності. У зв'язку з тим, що фізико-механічні властивості добрив найрізкіше змінюються залежно від вмісту в них вологи, що робить значний вплив на роботу машин для внесення добрив, всі мінеральні добрива повинні мати певне значення стандартної (заводської) вологості. Особливе значення має показник вологості добрив безпосередньо перед їх внесенням.

Гранулометричний склад добрив необхідно знати не лише для того, щоб перевірити відповідність їх технічним вимогам, але і для того, щоб враховувати кількість часток різних фракцій, оскільки вони володіють різними фізико-механічними властивостями, які впливають на дальність польоту часток і рівномірність розподілу їх по поверхні поля.

При роботі машини для внесення органо-мінеральних добрив з відцентровими робочими органами велике значення на швидкість частки добрив відносно лопаті має коефіцієнт тертя. При русі часток добрив уздовж лопаті вони ковзають відносно неї і перекочуються по ній. Тому необхідно визначити динамічний коефіцієнт тертя. Причому, визначити показники динамічного коефіцієнта тертя для всіх фракцій добрив після аналізу їх гранулометричного складу.

При русі часток добрив в повітряному середовищі на дальність їх польоту

впливає коефіцієнт парусності добрив. Якщо добрива мають декілька фракцій, то необхідно визначити коефіцієнт парусності для всіх фракцій добрив, оскільки вони при однаковій швидкості сходу з диска розподіляються по полю на різних відстанях від нього.

Гранулометричний склад твердих органо-мінеральних добрив визначається по ОСТУ 70.7.1 74 «Машина для внесення органо-мінеральних добрив, вапняних матеріалів і гіпсу. Програма і методи випробувань» за допомогою механічного аналізу. У різних місцях купи добрив відбирається три проби вагою по 250...300 г кожна. Порція добрив поміщається в систему розташованих один над одним сит, розмір отворів яких зменшується від верхніх сит до нижнім. Застосовуються сита, отвори в яких мають наступні розміри: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм і 5 мм. Сита піддаються струшуванню протягом двох хвилин з інтенсивністю гойдання в хвилину. Залишки добрив на ситах і що пройшли через сито з розміром вічок 1 мм зважуються окремо на вагах з точністю 0,1 гр.

Вологість добрив визначається по ОСТУ 70.2.15 73 «Випробування сільськогосподарської техніки. Методи визначення умов випробувань».

При внесенні добрив відцентровими дисками або іншими металевими робочими органами дальність їх польоту і якість розсівання значною мірою залежать від коефіцієнта парусності їх часток.

У складі сечовини і нітроамофоски найбільша частина гранул (відповідно 78% і 66%) мають розмір 2,1...3 мм, і часток менше 1 мм і більше 4 мм в сечовини менше 2%, в нітроамофоски менше 4%. З досліджуваних органо-мінеральних добрив найбільш рівною по розмірах часток є сечовина, а суперфосфат має найбільш широкий діапазон розмірів часток.

1.4. Аналіз огляду літературних та патентних джерел існуючих конструкцій для внесення органо-мінеральних добрив

Відцентрові розсіювальні органи були створені понад 70 років тому. Їх конструкція включає диск, який встановлений на вертикальному валу, на

верхній поверхні якого закріплені допатки, а сам диск приводиться в обертальний рух з частотою 10-20 с⁻¹.

Робочий процес таких розсіювальних органів полягає в тому, що добрива спрямовуються на певну ділянку верхньої площини диска, де захоплюються лопатками і втягуються в обертальний рух. Під дією відцентрової сили частинки добрив рухаються з прискоренням вздовж доплаток від центра розсіювальних органів до його периферії. В момент злітання з розсіювальних органів вони мають абсолютну швидкість, яка дорівнює сумі векторів переносної і відносної швидкостей. Частинки добрив розсіваються по полю шляхом вільного польоту на ширині захвату машини.

В машинах провідних фірм передбачається індивідуальне регулювання частоти обертання кожного розсіювального органу, що дозволяє при необхідності отримувати несиметричний характер внесення добрив на краях поля. Спроби створити розсіювальні органи з складною траєкторією руху диска або лопатки з метою покращення якості внесення добрив не дали бажаного результату, а тільки призвели до суттєвого ускладнення конструкції.

Відносно діаметра розсіювальних органів можна сказати, що він в сучасних машинах варіює від 200 до 1000 мм. При виборі цього параметра необхідно враховувати, що його зростання призводить не тільки до збільшення матеріаломісткості машини, а й до зростання його моменту інерції, котрий обумовлює великі динамічні навантаження на деталі механізму привода. В переважній більшості машин розсіювальні органи мають діаметр в межах 500-800 мм і виготовляються з нержавіючої сталі товщиною 1,5-2 мм.

Ширина захвату машин залежить також від форми диска розсіювальних органів, яка обумовлює напрямок вектора абсолютної швидкості частинок добрив до горизонту, що сходять з розсіювальних органів.

В Українському науково-дослідному інституті механізації та електрифікації сільського господарства було розроблено розсіювальний орган, в якому диск мав форму конуса, спрямованого вершиною вниз. При роботі такого розсіювального органу абсолютна швидкість частинок добрив, які

сходять з його поверхні, спрямована під кутом уверх до горизонту. Це дало можливість підвищити робочу ширину захвату без збільшення діаметра частоти обертання розсіювального органу. Однак слід зауважити, кут нахилу твірної конуса до його основи складав лише 3° , що не забезпечувало повної реалізації потенційних можливостей такого розсіювального органу.

Аналогічний розсіювальний орган, але із збільшеним кутом нахилу твірної конуса, німецька фірма «Amazonen-Werke» розробила лише через 13 років.

У вітчизняних машинах МВУ-5 і МВУ-8 застосовували розсіювальні органи, твірна конусної поверхні яких була розташована під кутом 10° до горизонту.

Конусні диски складніші у виготовленні у порівнянні з плоскими. В зв'язку з цим була зроблена спроба створити диск плоским з локальним нахилом його поверхні до горизонту під кутом до 20° . Крім того, було розроблено плоский диск з конусною обичайкою (рис. 1.5.). Однак ці рішення не забезпечили суттєвого ефекту у порівнянні з конусним диском і тому вони не мають практичного застосування.

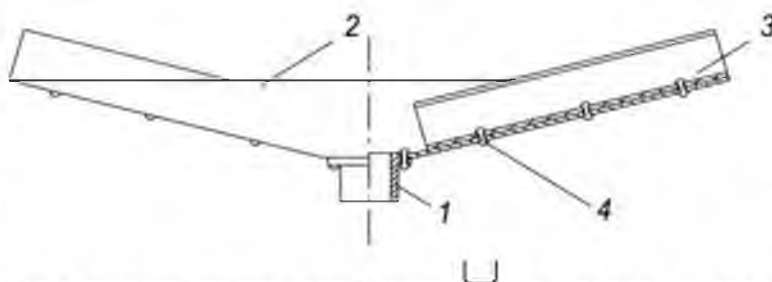


Рис. 1.4. Схема відцентрового розсіювального органу з диском конічної форми:

1 - маточина, 2 - конусний диск, 3 - лопатка, 4 - заклепка

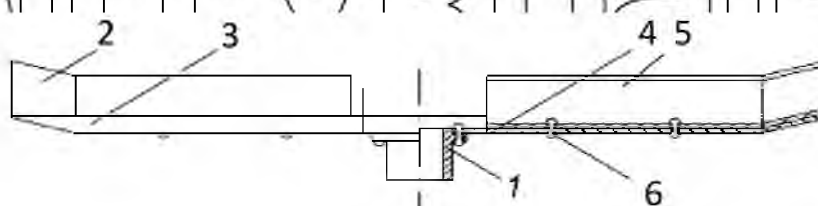


Рис. 1.5. Схема відцентрового розсіювального органу з плоским диском, який обладнаний конусною обичайкою.

1 - маточина; 2 - подовжувач лопатки; 3 - конусна обичайка; 4 - плоский диск; 5 - лопатка; 6 - заклепка

Цікавим є напрямок створення розсіювального органу на базі плоских дисків, осі валів яких установлюються під кутом до горизонту. Однак відсутня інформація про якісні показники внесення добрив такими розсіювальними органами. Крім того, таку схему установки розсіювального органу можна застосовувати тільки на машинах, які обладнують двома розсіювальними органами. Їх не можна застосовувати на машинах з одним розсіювальним органом.

На показники роботи машин в значній мірі впливають лопатки, які закріплюються на поверхні диска. Лопатки використовують прямокутної або жолобчастої форм, останні на 6-10 % менше руйнують гранули добрив. Вони можуть мати як прямолінійну форму, так і криволінійну.

Криволінійна форма лопаток більш складна, особливо це проявляється при застосуванні конусних дисків. Спроби оптимізувати параметри криволінійних лопаток виявились безуспішними в зв'язку з тим, що значення показників фізико-механічних властивостей різних видів органо-мінеральних та органічних добрив мають значні розбіжності. В розсіювальних органах, що мають постійний радіус подачі добрив, інколи тільки забірні частини лопаток виконують криволінійними. Таким чином виключається лобовий удар гранул по поверхні лопатки і це в деякій мірі зменшує ступінь руйнування гранул добрив.

В сучасних машинах провідних фірм застосовуються лише прямолінійні лопатки. Їх кількість на одному диску знаходиться в межах 2-6 штук.

Японськими розробниками машин був створений розсіювальний орган, в якому лопатки з метою зменшення руйнування гранул були виготовлені з гуми, а у польських машин для внесення добрив моделі «Titan» металеві лопатки покривали гумою. В зв'язку з інтенсивним зношуванням гуми такі розсіювальні органи мали дуже обмежений строк використання.

Одним з суттєвих недоліків лопаток в процесі роботи розсіювальних

органів є налипання на них добрив. Спроби усунути цей недолік шляхом виготовлення лопаток з еластичного матеріалу, у вигляді безкінечної стрічки, що установлена на роликах з приводом або з пневмоцисткою, не дали бажаного результату, а тільки призвели до ускладнення конструкції. Тому в розсіювальних органах сучасних машин застосовують лопатки, що виготовлені з нержавіючої сталі. Поверхня таких лопаток не кородує та має низьку шорсткість і завдяки цьому зменшується налипання добрив на неї.

З метою покращення якості внесення добрив створені РО, в яких:

- зовнішні кінці лопаток виступають за межі диска, при цьому зазначені кінці суміжних лопаток установлені на різній відстані від центра РО;

- як внутрішні кінці суміжних лопаток, так і їх зовнішні кінці мають різну відстань до центра РО;

- регулюється довжина лопаток;

- регулюється висота лопаток;

- регулюється положення лопаток відносно радіуса РО;

- лопатки мають різну висоту, розташовані під різними кутами до радіуса РО, при цьому лопатки орієнтовані за напрямом обертання РО в порядку зменшення їх розміру та кута відхилення від радіуса;

- верхні кромки лопаток виконуються загостреними або зубчастими для зменшення відбивання ними добрив із потоку, що поступає з тукосирмовувача на РО.

Однак практичне застосування в машинах провідних фірм знаходять РО, в яких регулюється довжина лопаток і їх положення відносно радіуса РО. Зовнішні кінці суміжних лопаток розташовують на різній відстані від центра РО. При цьому напрям розсівання добрив регулюють як зміною довжини лопаток, їх положення відносно радіуса РО, так і зміною зони подачі добрив на РО.

Крім того, в цих машинах на лопатках застосовується направляючий козирок, який марнірно з можливістю регулювання кута установки до горизонту кріпиться на зовнішніх кінцях лопаток. В процесі роботи РО

добрива, що сходять з лопаток, попадають на направляючий козирок, який практично є продовженням лопатки, ударяються по його поверхні, завдяки чому збільшується кут між вектором абсолютної швидкості сходження частинок добрив з розсіювальних органів і горизонтальною площиною.

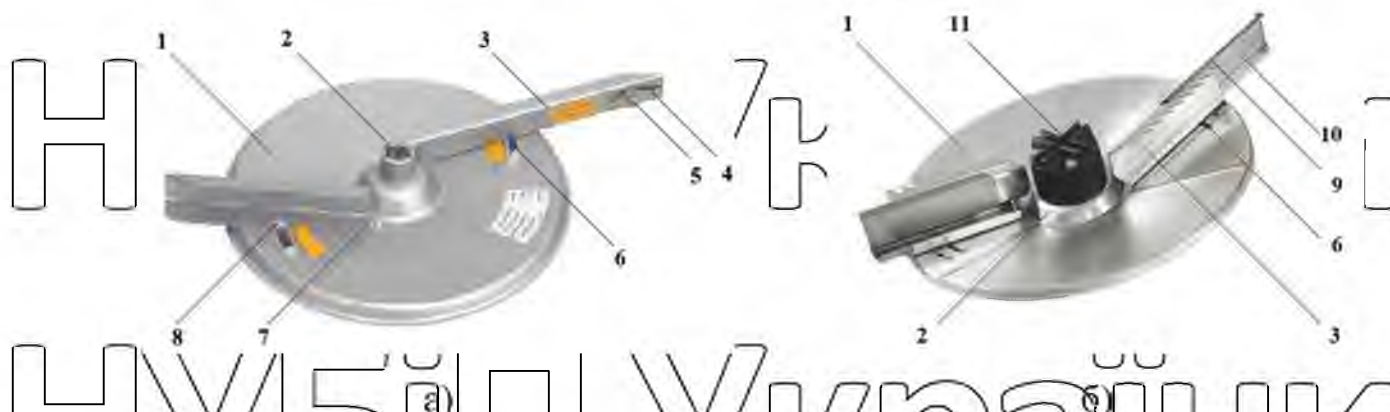


Рис.1.6 Відцентрові РО виробництва: а - «Amazonen-Werke», б - «Rauch»(ФРН):

1 - диск; 2 - маточина; 3 - лопатка; 4 - направляючий козирок; 5 - вісь козирка; 6 - паз; 7 - вісь повороту лопатки; 8 - фіксатор положення лопатки; 9 - зубчаста кромка лопатки; 10 - подовжувач лопатки; 11 - гайка.

Направляючий козирок може мати форму виконання у вигляді подовжувача днища лопатки або трампліна, який має антифрикційне покриття.

Однак ефект від застосування направляючого козирка невеликий в зв'язку з тим, що при ударі по поверхні направляючого козирка відбувається зменшення відносної швидкості частинок добрив.

Аналогічна конструкція була розроблена і в нашій країні, але без регулювання положення направляючого козирка, а з використанням конусної обичайки. По називаній причині вона також не знайшла широкого застосування у вітчизняних машинах.

Відомі технічні рішення, в яких з метою покращення показників роботи розсіювальних органів виконані у вигляді кількох дисків з лопатками, що установлені

ярусно на спільній осі обертання і мають однакову частоту

обертання;
 ярусно, мають індивідуальні осі обертання і попарно перекривають один одного в напрямку, перпендикулярному до руху агрегату;
 ➤ зі зміщенням у напрямі руху агрегату.

Однак наведені технічні рішення призводять до ускладнення конструкції машин при сумнівній ефективності покращення показників якості їх роботи.

Суттєвим недоліком всіх відомих відцентрових розсіювальних органів, як і всіх розсіювальних органів кидального типу, є сепарація гранул добрив за розмірами в процесі їх внесення. Тобто, гранули більшого розміру розсіваються на більшу відстань від машини, а гранули меншого розміру - на меншу.

В зв'язку з руйнуванням гранул добрив при їх внесенні відцентрові розсіювальні органи мають певні обмеження щодо радіуса подачі добрив та кінематичного режиму роботи. Отже, існує обмеження покращення показників роботи машин шляхом підвищення частоти обертання розсіювальних органів.

Тому багатьма розробниками технічних засобів була зроблена спроба покращити зазначені показники шляхом подачі в потік добрив, що сходять з розсіювальних органів, супроводжуючого повітряного струменя.

Така різновидність відцентрових розсіювальних органів отримала назву пневмовідцентрових.

Однак відомих машинам для внесення органо-мінеральних добрив характерні недоліки. До них можна віднести:

➤ конусоподібна форма бункерів відомих моделей машин начіпного типу, що обладнані одним розсіювальним органом, обмежує їх вантажомісткість;

➤ горизонтальний варіант установки кузовів машин напівпричіпного типу відносно ходової системи призводить до зниження висоти установки відцентрових розсіювальних органів над поверхнею землі, в результаті чого має

місце пошкодження стебел рослин при їх підживленні розсіювальних органів;
 відсутні ефективні конструкційно-технологічні схеми машин з прутково-пластинчастим живильником для одночасного внесення кількох

видів добрив без їх попереднього змішування;

негативно на якість внесення добрив впливає просипання добрив в прутково-пластичастих живильниках через бокові вирізи днища кузова перед зірочками ведучого вала;

відомі конструкції корегуючих щитків тукоспрямовувачів ненадійні в роботі;

відсутні відцентрові розсіювальні органи, в яких одночасно можна було б поєднати переваги розсіювальних органів, обладнаних конусним диском, і розсіювальних органів, положення лопаток яких регулюється

відносно радіуса останнього;

відсутні відцентрові розсіювальні органи, в яких поєднуються переваги останніх і ефективного використання супроводжувачого повітряного струменя.

Діаметр розсіювальних органів зарубіжних машин для внесення добрив, як правило, знаходиться в межах 300-650 мм. При цьому машини з розсіювальними органами діаметром: 300-400 мм складають від загальної їх кількості 25 %, 400-500 мм - 50 % і 500-650 мм - 25%.

В питанні обґрунтування діаметра розсіювальних органів висновки і

рекомендації дослідників в основному співпадають.

Узагальнюючи результати досліджень, спрямованих на оптимізацію діаметра розсіювальних органів, можна зробити наступний висновок: спільною

думкою всіх дослідників є те, що діаметр розсіювальних органів доцільно вибирати в межах 500-700 мм. До цього необхідно додати, що остаточний вибір буде обумовлюватись конструкційними особливостями машини для внесення органо-мінеральних добрив.

Відомі моделі внесення добрив по поверхні поля не узгоджуються з реальним процесом внесення добрив.

Базуючись на викладеному, мету даної роботи можна сформулювати так: поліпшення якості внесення органо-мінеральних та органічних добрив і підвищення продуктивності машин.

Відцентровий робочий орган для розсіювання сипучих матеріалів

Призначений для збільшення дальності та рівномірності розсіювання сипучих матеріалів. На (рис. 1.7.а) зображено робочий орган для розсіювання сипучих матеріалів, на б - вид А на а - робочий орган містить корпус 1 з підшипниками 2, у якому встановлений приводний вал 3 із ступицею 4 і шківом 5. До ступиці 4 з допомогою пальців 6, вісь симетрії яких розташована паралельно осі валу 3, шарнірно закріплені сегменти 7, кожен з яких має жорстко закріплені до нього лопаткою 8 та жорстким пальцем 9, утворюючи сегментний диск 10. Крім того, до ступиці 4 прикріплені спіральні пружини 11, які спираються своїми вільними кінцями у сегменти 7. До корпусу 1 прикріплений відбивач 12, протилежний кінець якого розташований в зоні руху пальців 9. При цьому відбивач 12 має механізм 13 установки його положення відносно пальців 9 сегментного диску 10.

Пристрій працює наступним чином.

При включенні приводу робочого органу шків 5 передає обертальний рух валу 3 із ступицею 4 з сегментним диском 10. Мінеральні добрива направляються на сегмент 7, який в цей момент сповільнив свій рух внаслідок дотику пальця 9 та відбивача 12, при цьому сегмент 7 повертається відносно пальця 6, закручуючи спіральну пружину 11 відносно її кріплення на ступиці 4. Доступ матеріалу на сегмент 7 та закручування при цьому пружини 11 продовжується до тих пір, поки палець 9 знаходиться дотикаючись до відбивача 12 та утримується ним. Після сходу пальця 9 з відбивача 12 в результаті суміщення сегменту 7 в бік обертання ступиці 4 пружина 11, розкручуючись, передає сегменту 7 прискорення руху відносно пальців 6 в бік обертання диску 10 і матеріал під дією відцентрової сили сходить з лопатки 8, заповнюючи спочатку ближню, а потім дальню зони розсіювання. Так, сегмент 7 після сходу з пальця 9 з відбивача 12 рухається з прискоренням, а відповідно, діючи при цьому відцентрова сила на частинки матеріалу безперервно збільшується, то швидкість сходу з лопатки 8 матеріалу, а далі і його кількість безперервно збільшуються в напрямку дальньої зони, що забезпечує доступ

однакової кількості матеріалу на одиницю площі та приводить до рівномірного розташування по ширині захвату.

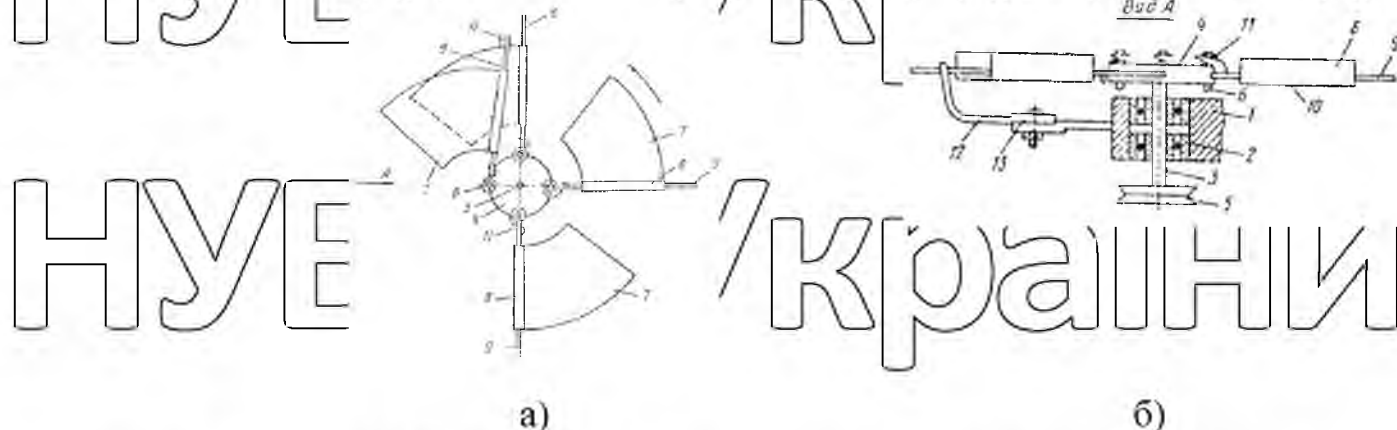


Рис. 1.7. Робочий орган відцентрового розкидача добрив

а - робочий орган, б - розріз А-А,

Робочий орган відцентрового розкидача добрив призначений для підвищення рівномірності внесення добрив, шляхом збільшення ширини захвату.

На рис. 1 зображено робочий орган, на фіг. 2 - розріз А-А на рис. 1, на рис. 3 - променеподібний робочий орган, вид зверху, на рис. 4 - розріз Б-Б на фіг. 3. Робочий орган відцентрового розкидача добрив має ступицю 1, на якій розташовані променеподібні робочі елементи, виконані в вигляді лопаток 2.

Лопатки 2 виконані в вигляді конусних жолобків, які розташовані вершинами в бік ступиці і робочого елемента. Лопатки 2 з'єднані між собою косинками 3. Робочі елементи розташовані один над одним. Промені наступного кожного ряду розташовані в проміжках між променями верхнього ряду зі зміщенням 30° .

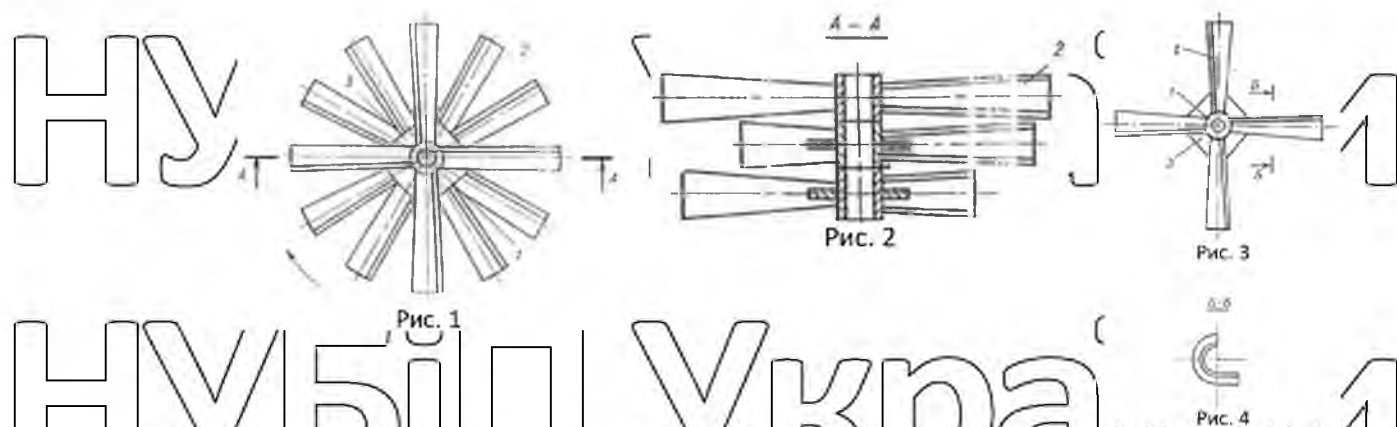


Рис. 1.8. рис. 1 - зображено робочий орган, на рис. 2 - розріз А-А, на рис. 3 -

променеподібний робочий орган, вид зверху, на рис.4 розріз Б-Б.

Робочий орган відцентрового розкидача працює наступним чином. Лопатки 2 підхоплюють частинки добрив і під дією відцентрових сил після деякого руху їх по робочим поверхням лопаток 2 до периферій струйкою сходять з них і розташовуються по поверхні ґрунту. Частота обертання робочого органу та висота лопаток достатня для здійснення сходу всіх частинок тільки з поверхні лопаток 2.

Робочі органи для внесення органо-мінеральних добрив та вапна, а також інших сипучих продуктів, поверхневим способом – призначені для підвищення рівномірності розподілу органо-мінеральних добрив по поверхні ґрунту.

Поставлена задача вирішується тим, що міжпроменева відстань відсутня, чотири промені, які перегинаються в центрі, мають різні кути нахилу до горизонту. Вони виконані в вигляді конусних жолобів з різними кутами, які звернені доверху.

Загальними ознаками продукту, що заявляється, є робочий орган відцентрового розкидача добрив, що включає в себе, пов'язаний з приводом обертання горизонтальний променеподібний робочий елемент, промені якого виконані у вигляді лопаток та закріплені один над одним на одній осі з основними.

Відмінною ознакою продукту, що заявляється є те, що міжпроменева відстань відсутня, чотири промені, які перегинаються в центрі, мають різні кути нахилу до горизонту. Вони виконані в вигляді конусних жолобів з різними кутами, які звернені доверху.

На (Рис 1.9. а) зображений робочий орган (вид зверху), розріз А-А; на б - променеподібний робочий орган, вид зверху - розріз Б-Б. Робочий орган складається з горизонтального променеподібного робочого елемента, промені якого виконані у вигляді лопаток та закріплені один над одним на одній осі з основними.

Міжпроменева відстань відсутня, чотири промені, які перегинаються в центрі, мають різні кути нахилу до горизонту. Вони виконані в вигляді конусних жолобів з різними кутами, які звернені доверху.

Пристрій працює наступним чином.

Добрива подаються дозуючим апаратом на променеподібний робочий елемент, що обертається. При подачі добрив на лопатки 1 верхнього ряду, певна частина добрив захоплюється ними, залежить від пропускної здатності верхнього робочого органу. Йде розподілення по робочій поверхні ґрунту.

Наступна частина добрив потрапляє в зону дії другого променеподібного елемента 2, який розташовує цю кількість добрив. Це ж саме відбувається з добривами, які залишилися і потрапили на 3 та 4 лопатки.

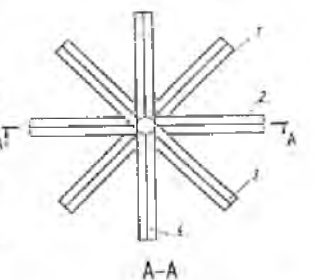


Рис. 1

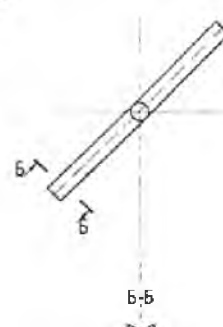


Рис. 2

Рис. 19. Робочий орган (вид зверху), рис. 1, розріз А-А; на рис. 2 - променеподібний робочий орган, вид зверху - розріз Б-Б.

Застосування корисної моделі забезпечить, за рахунок, відсутності міжпроменевої відстані, чотирьох променів, які перетинаються в центрі, мають різні кути нахилу до горизонту, виконані в вигляді конусних жолобів з різними кутами, які звернені до верху, підвищення продуктивності та зменшення трудомісткості виконання внесення добрив, а також підвищення рівномірності розсіювання, зниження витрат добрив і підвищення врожайності сільськогосподарських культур.

Широкого розповсюдження набули машини з відцентровим робочим органом завдяки простоті конструкції, малій питомій металоемності та високій продуктивності, надійності технологічного процесу. Розкидачі відцентрового типу розсіювання органо-мінеральних добрив розподіляють останні по площі поля порівномірно - перевищення в декілька разів. Крім того, при використанні сумішей добрив, неоднорідної маси та різних за гранулометричним складом органо-мінеральних добрив, навіть при

переобладнанні машин відбувається розташування добрив по ширині захвату.

Цей фактор збільшує коефіцієнт варіації (нерівномірного розташування орґано-мінеральних добрив) та понижує збалансованість поживних елементів,

що призводить до недобору врожаю на 10-15%, порівняно з внесенням добрив

з мінімально можливою нерівномірністю. Даний робочий орган буде

забезпечувати рівномірність внесення орґано-мінеральних добрив згідно

агротехнічних вимог виконання операції.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВНЕСЕННЯ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

НУБІП України

2.1. Формування концепції робочого органу

Процес розподілу гранул по поверхні поля носить багатофакторний імовірнісний характер. На нього впливають: нормальний закон розподілу коефіцієнта вітрильності, логарифмічний закон залежності дальності польоту від коефіцієнта вітрильності, закон поступового законів дає остаточну картину руху агрегату у цілому. Суперпозиція цих розподілу добрива по поверхні. у загальному випадку цей закон не може бути рівномірним. Але, якщо забезпечити достатньо велику кількість варіантів початкового сходу гранул із поверхні то із точки зору теорії імовірності цей закон стане наближатись до рівномірного. Графічна інтерпретація цього положення наведена на рис. 2.1.

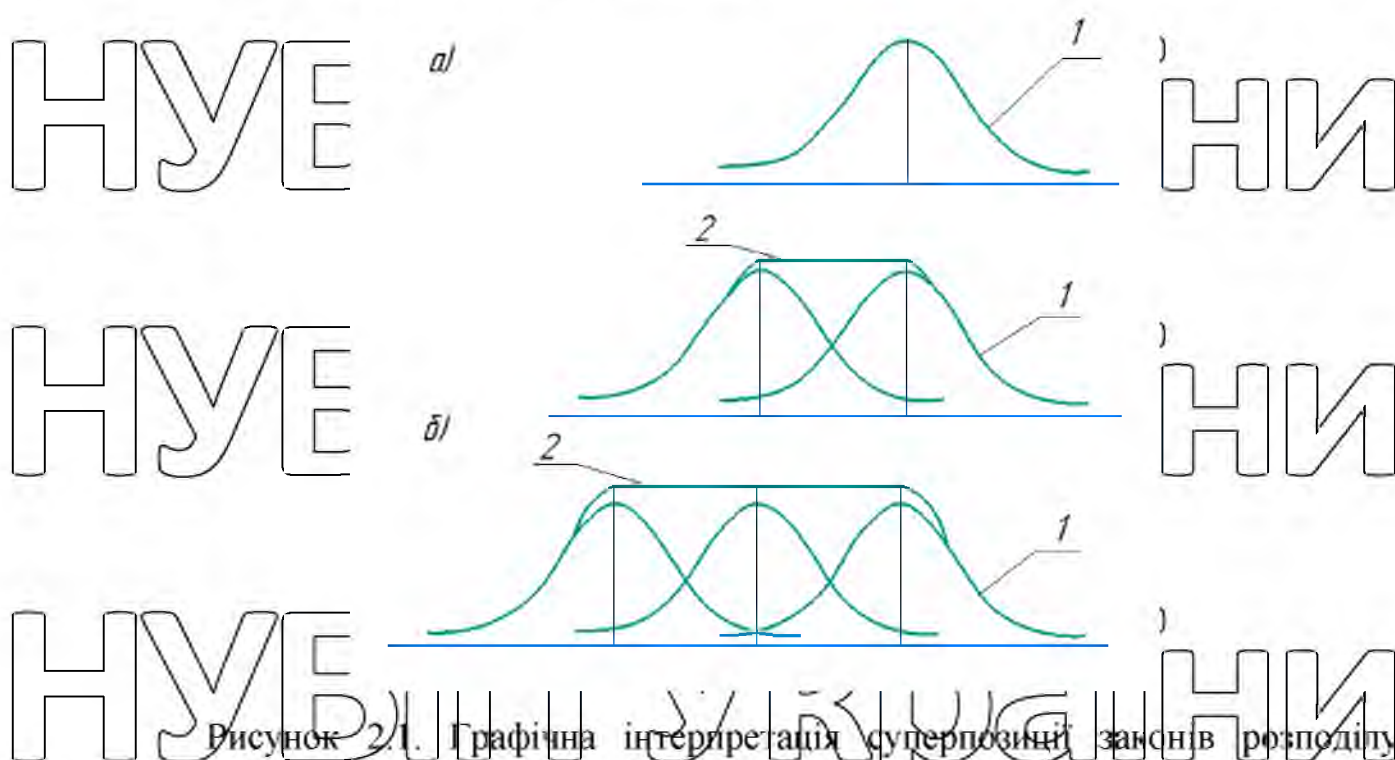


Рисунок 2.1. Графічна інтерпретація суперпозиції законів розподілу добрива по поверхні поля при наявності одної (а), двох (б) та трьох (в) точок сходу із поверхні диска.

Як видно із наведеного звичайна сума поодиноких законів розподілу дозволяє стримати ділянки 2 близькі до рівномірного розподілу. Таким чином, треба забезпечити сходження із диска декількох потоків гранул із різними

НУБІП України

початковими швидкостями, але при цьому не допустити перехрещення потоків у процесі польоту. Як видно із наведеного зображення сума подинних Γ законів розподілу дозволяє отримати ділянки 2 близькі до сходження з диска декількох рівномірного розподілу. Таким чином, треба забезпечити потоків гранул із різними початковими швидкостями, але при цьому не допустити перехрещення потоків у процесі польоту. Для виконання поставленої задачі нами пропонується наступна схема робочого органу (рис. 2.2).

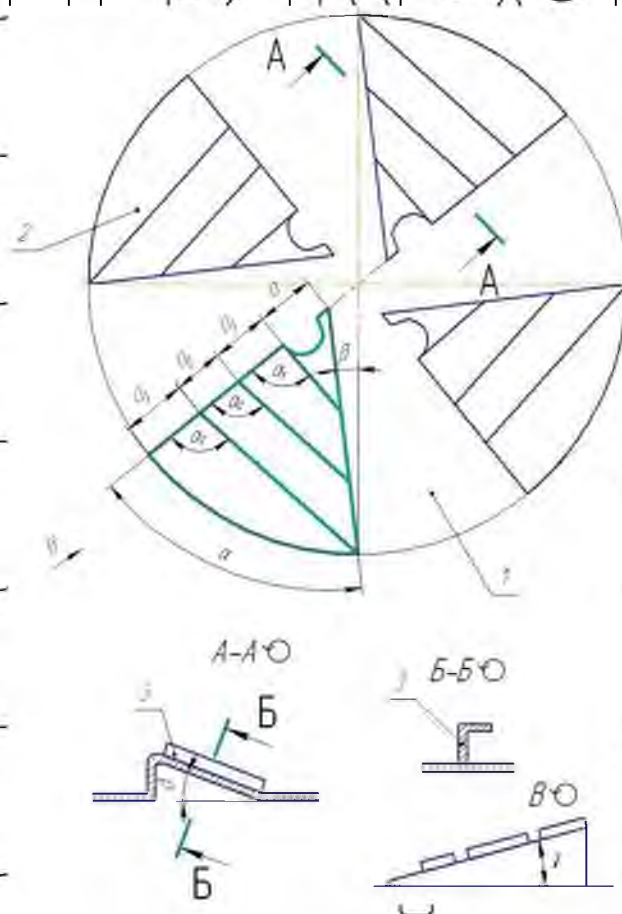


Рис. 2.2. Конструктивна схема диска розкидача добрив.

Диск 1 оснащений трикутними (вид А-А) лопатями 2, робоча поверхня збільшується по мірі віддалення від центру обертання. На робочій поверхні лопатей закріплені напрямлючі 3 Г-подібної форми (вид Б-Б). Добрива подаються на плоску поверхню диска 1 і під дією відцентрових сил надходять на лопаті 2. Далі потік розділяється напрямними 3 на чотири окремі потоки які при сходженні із поверхні лопаті будуть рознесені у просторі, що виключає перехрещення їх траєкторій.

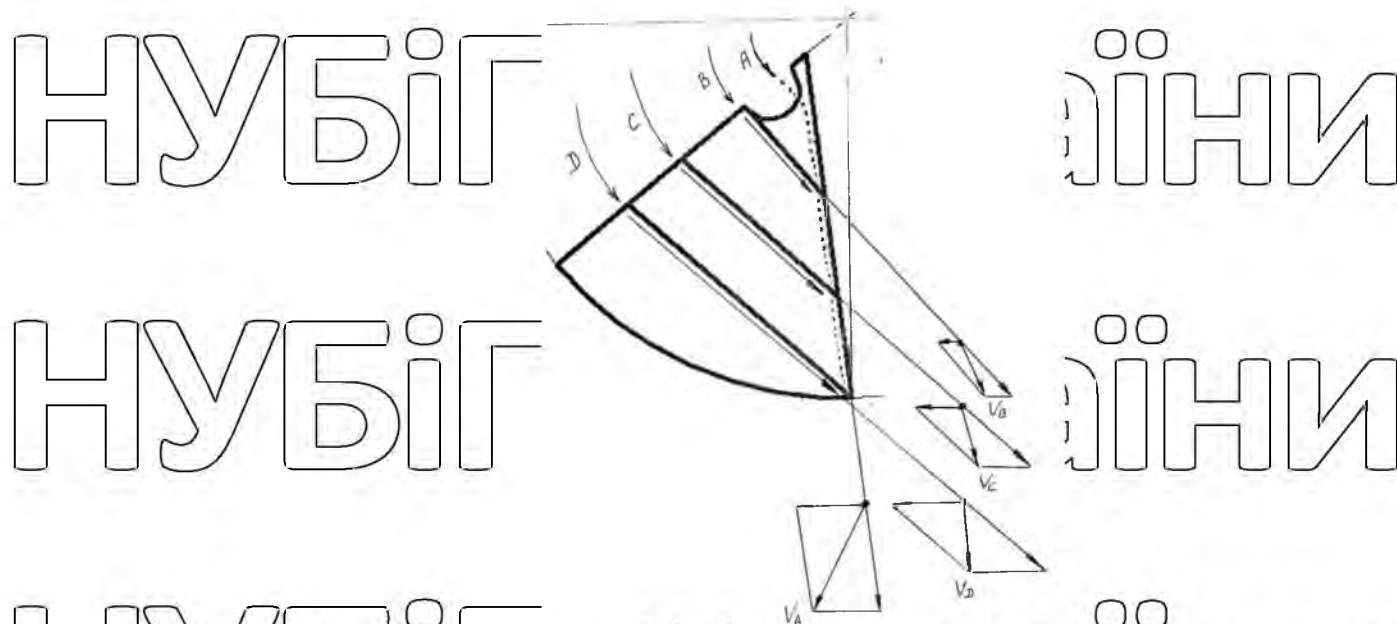


Рис. 2.3. Розрахункова схема до визначення параметрів потоку

Для розпізнання мінеральних добрив по поверхні ґрунту використовують машини із одним чи двома розсівальними дисками. На верхній поверхні кожного змонтовано по чотири плоскі лопатки, що розмішені радіально або із відхиленням від па-кут $\pm(10...15^\circ)$. Робочий процес такого апарата складається із двох фаз: відносного переміщення гранул по диску і вільного польоту під дією наданої їм кінетичної енергії й діючого прискорення вільного падіння.

Перша фаза починається із моменту падіння гранули на диск і охоплює два періоди: рух гранули по диску до зіткнення із лопаткою і переміщення гранули добрив по поверхні лопатки. Рух добрив до зіткнення із лопаткою відбувається за умови

$$mw^2r > fmg, \text{ або } w > \sqrt{\frac{fg}{r}} \quad (2.1)$$

Оскільки

$$w = \frac{\pi n}{30} \quad (2.2)$$

то для додержання цієї умови частота обертів диска

$$n > \frac{30w}{\pi} = 30 \sqrt{\frac{fg}{\pi^2 r^2}} \quad (2.3)$$

де f - коефіцієнт тертя часточки добрив по диску;

r - відстань від місця падіння часточки добрив до центра обертів диска, м.

Часточка добрив під час падіння на диск рухається по траєкторії, що нагадує логарифмічну спіраль.

Після зіткнення часточки із лопаткою починається другий період руху часточки по диску - вздовж лопатки.

Завдяки лопаткам змінюється напрямок руху гранул добрив, збільшується їх швидкість і дальність польоту.

При переміщенні часточки вздовж лопатки на гранулу масою m (рис 2.4.) діють:

- відцентрова сила інерції

$$F_{\text{вц}} = m\omega^2 r_i; \quad (2.4)$$

➤ коріолісова сила

$$F_K = 2m\omega r_i; \quad (2.5)$$

- сила тертя гранул по диску

$$F_1 = fmg; \quad (2.6)$$

➤ сила тертя гранул по лопатці

$$F_2 = f(2m\omega r_i - m\omega^2 r_i \sin\psi); \quad (2.7)$$

де ω - кутова швидкість диска;

r_i - відстані, між гранулами та віссю обертів диска;

$r_i = v_r$ - відносна швидкість ковзання гранули вздовж поверхні лопатки;

f - коефіцієнт тертя гранули добрив по поверхні диска та лопатки;

ψ - кут відхилення лопатки від радіуса диска.

Кут $\psi \neq const$, якщо лопатка прямолінійна; $\psi = const$, якщо лопатка змонтована по логарифмічній кривій із полюсом, що збігається із віссю O обертів диска. Прискорення Коріоліса $2\omega v_r$ перпендикулярне до v_r і має напрямок у бік ω , а Коріолісова сила $F_K = 2m\omega v_r$ має зворотний напрямок.

Ковзання гранули вздовж лопатки відбувається за умови:

$$\omega r_i \cos\psi_1 > fg + (2m\omega r_i - m r_i \sin\psi_i), \quad (2.8)$$

Із формули (3.8) можна визначити $r_i = v_r$ у той момент, коли гранула злітає визначають за формулою

$$v_a = \sqrt{(v_b \pm v_r \sin\psi_K)^2 + (v_r \cos\psi_K)^2}, \quad (2.9)$$

де ψ_k - кінцеве значення кута між лопаткою і радіусом диска

Згідно з (рис. 2.4, а) у формулі (2.4) перед $v_r \sin \psi_k$ знак «плюс» ставиться тоді, коли лопатки змонтовані на диску «кутом» уперед по ходу обертів розсіювального диска, а знак «мінус», якщо лопатки змонтовані «кутом» назад.

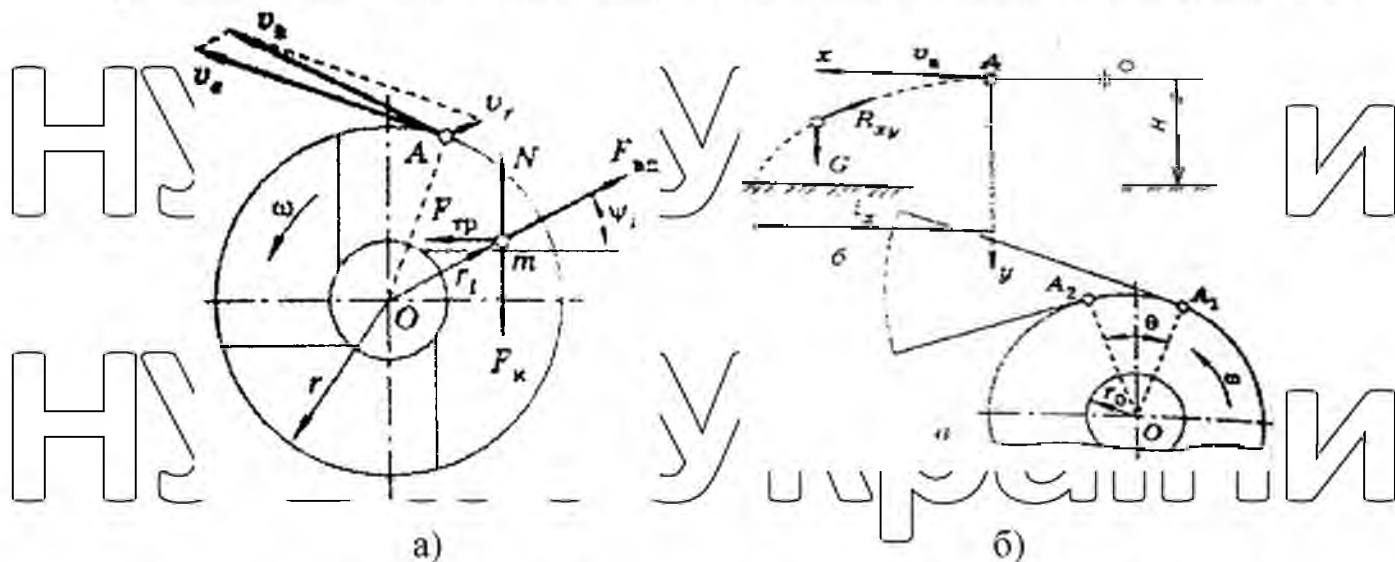


Рис. 2.4. Схема для визначення процесу розсіювання мінеральних добрив дисковим апаратом:

а - сили, що діють на гранулу добрив; б - до визначення дальності польоту часточки добрив; у - зони розсіювання добрив.

При радіальному розміщенні лопатей $\psi_k = 0$.

Тоді

$$v_a = \sqrt{v_e^2 + v_r^2}, \quad (2.10)$$

Проте v_r значно менша від v_e , тому вплив v_r на v_a відносно невеликий і при практичних розрахунках ним можна знехтувати, прийнявши $v_a \approx v_e$.

Друга фаза передбачає рух гранули, що злетіла із диска зі швидкістю $v_a \approx v_e$, яка має напрямок по горизонталі. При цьому (рис. 2.4, б) на частину добрив діятимуть:

➤ сила ваги

$$G = m \cdot g, \quad (2.11)$$

➤ сила опору повітря

$$R_x = m k_n v^2, \quad (2.12)$$

де k_n - коефіцієнт парусності.

За малих значень k_n опір повітря можна не враховувати. Для визначення дальності польоту часточок добрив використовують рівняння:

$$x = v_a \cdot t_n \quad (2.13.)$$

$$y = \frac{gt_n^2}{2}$$

Розв'язавши друге рівняння відносно часу t_n польоту гранули:

$$t_n = \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad (2.14.)$$

Підставивши значення t_n у перше рівняння виразу (2.13), дістанемо, рівняння траєкторії гранули (див. рис. 2.4, б):

$$x = v_a \sqrt{\frac{2y}{g}} \approx \omega r \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad (2.15.)$$

Визначимо дальність польоту часточки добрив для розсіювального пристрою, підставивши у залежність (2.15) значення $y = H$, тоді

$$x = l_x = \omega r \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (2.16.)$$

де H - висота розміщення розсіювального диска над поверхнею ґрунту.

Для збільшення дальності польоту часточок добрив у деяких конструкціях застосовують конічні диски із кутом конусності $3 \dots 5^\circ$.

Ураховуючи, що гранули надходять на диск потоком певної ширини, відстань r_0 (рис. 2.4, в) для різних гранул буде різною. Через різні значення r_0 гранули злітають із диска по дузі $A_1 A_2$ (рис. 2.4, в), а їхній розподіл по поверхні поля фіксується пучком траєкторій. Центральний кут, що відповідає дій дузі, становить $\theta = 60 \dots 150^\circ$.

Для дводискового апарата ширину розсіювання визначають за формулою:

$$B_p \approx 2\omega r \sqrt{\frac{2H}{g}} + A, \quad (2.17.)$$

де $A \approx (2,4 \dots 2,6)$, r - відстань між центрами розсіювальних дисків.

$$2,4\omega = 3,14 \cdot \left(\frac{100}{30}\right) = 0,104 \text{ м/с}$$

$$x = 0,01 \cdot 2 \cdot 0,7 = 0,014 \text{ м.}$$

$$G = 0,0004$$

$$F_1 = 0,004 \cdot 0,08 = 0,0032.$$

$$F_{\text{вц}} = 0,004 \cdot 0,001^2 \cdot 60 = 0,00000024.$$

Для регулювання рівномірності розподілу добрив по ширині захвату машини змінюють добрив на розсіювальний диск. У разі подачі часточок добрив якомога ближче до осі обертів розсіювального диска (зменшення r_0 , рис. 2.4. в) збільшується кількість висіяних добрив по периферії ширини захвату машини.

Якщо добрива подаються далі від осі обертів розсіювального диска, то збільшується кількість висіяних добрив у середній частині смуги розсіву добрив. При збільшенні частоти обертів розсіювальних дисків добрива по поверхні поля, а при збільшенні діаметра дисків рівномірність погіршується. Накил лопаток до радіуса диска у бік обертів на $10 \dots 12^\circ$ сприяє рівномірному розподілу добрив по поверхні поля.

Рівномірність розподілу добрив оцінюють як по ходу руху машини, так і у поперечному напрямку. Оскільки часточки добрив злітають тільки із кінців лопаток, то добрива розсіюються струменями і розподіляються по поверхні поля концентрованими дугами, що свідчить про пульсивність характеру подачі добрив. Однодисковий відцентровий апарат нерівномірно розподіляє добрива у поздовжньому напрямку. Рівномірність розподілу добрив у поперечному напрямку значно нижча, ніж у поздовжньому. Завдяки перекриванню зон розсіювання добрив дводисковий апарат розподіляє їх по ширині захвату машини більш рівномірно.

2.2. Рух гранули після сходу із поверхні диска із урахуванням дії вітру

Розглядається математична модель руху частки із врахуванням опору навколишнього середовища. Загальний випадок, коли частинка рухається у повітрі після сходження із робочого органу.

На матеріальну точку діють сили (рис. 2.5.)

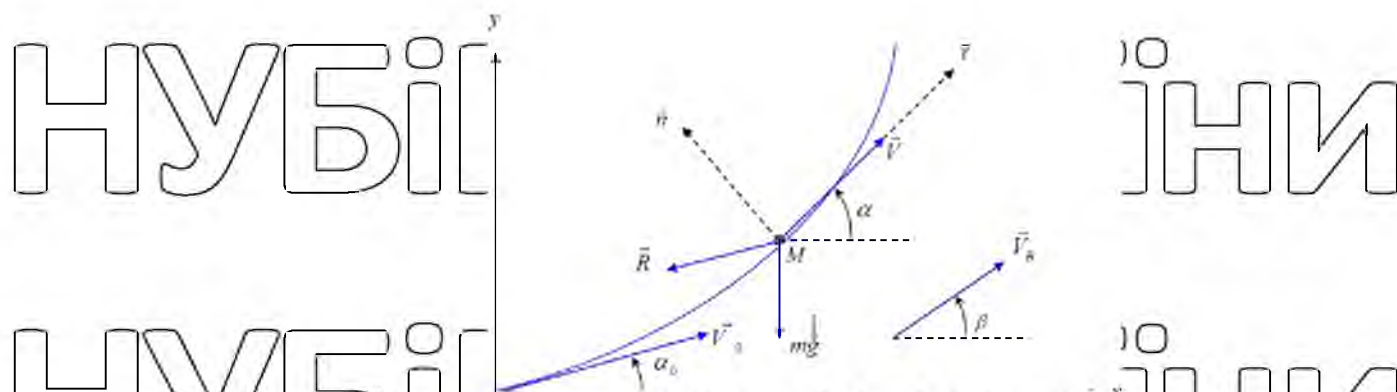


Рис. 2.5. Схема сил, котрі діють на матеріальну точку.

Сумарна сила опору (напору) навколишнього середовища:

$$\bar{R} = k \cdot m \cdot g \cdot (\bar{V} - \bar{V}_B), \quad (2.18.)$$

де k - коефіцієнт опору, с/м; V - швидкість частки у довільний момент часу t (утворює кут α із горизонтом), м/с; V_B - постійна швидкість вітру, направлена під кутом β до горизонту, м/с; V_0 - початкова швидкість матеріальної частки M (утворює кут α_0 із горизонтом), м/с.В натуральній системі координат $(M_{\tau n})$ система диференціальних рівнянь руху частки записується згідно:

$$m \frac{dv}{dt} = F_{\tau}, \quad m \frac{v^2}{\rho} = F_n \quad (2.19.)$$

яка у розгорнутому вигляді пропонується має вигляд

$$\begin{cases} m \frac{dv}{dt} = -m \cdot g \cdot \sin \alpha - k \cdot m \cdot g [V - V_B \cdot \cos(\beta - \alpha)] \\ m \frac{v^2}{\rho} = -m \cdot g \cdot \cos \alpha + k \cdot m \cdot g \cdot V \cdot \sin(\beta - \alpha) \end{cases} \quad (2.20.)$$

де $\frac{1}{\rho} = \frac{aa'}{ds}$ - кривизна траєкторії; s - дугова координата траєкторії.

Враховуючи, що

$$V = \frac{ds}{dt}; \quad \frac{dV}{dt} = \frac{dV}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = V \frac{dV}{ds}; \quad \frac{dV}{ds} = \frac{dV}{da} \cdot \frac{da}{ds} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dV}{da}; \quad \frac{dV}{dt} = \frac{V}{\rho} \cdot \frac{dV}{da}$$

З врахуванням останнього, перетворюємо систему диференціальних рівнянь (2.2.1) до вигляду

$$\frac{v}{g \cdot \rho} \left(\frac{dv}{d\alpha} - k \cdot V + A \cdot \cos(\alpha + \varphi) \right) = -A \cdot \sin(\alpha + \varphi) \quad (2.21.)$$

де $\sin \varphi = \frac{1 - k \cdot V_B \cdot \sin \beta}{A}$; $\cos \varphi = \frac{k \cdot V_B \cdot \cos \beta}{A}$

$$A = \sqrt{(1 - k \cdot V_B \cdot \sin \beta)^2 + (k \cdot V_B \cdot \cos \beta)^2}.$$

$$\frac{1}{g \cdot \rho} = \frac{A \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{v^2} \quad (2.22.)$$

Перше рівняння системи (2.1.) із врахуванням (2.22.) перетворюється до вигляду:

$$\frac{1}{v} \cdot \frac{dv}{d\alpha} = \frac{(k/A) \cdot v - \cos(\alpha + \varphi)}{\sin(\alpha + \varphi)} \quad (2.23.)$$

Після інтегрування отримуємо:

$$V(\alpha) = \frac{1}{C_0 \cdot \sin(\alpha + \varphi) + k/A \cdot \cos(\alpha + \varphi)} = \frac{1}{A_1 \cdot \sin(\alpha + \varphi + \Omega)} \quad (2.24.)$$

$$C_0 = \frac{[\frac{1}{V_0} - k/A \cdot \cos(\alpha + \varphi)]}{\sin(\alpha + \varphi)}$$

- постійна інтегрування [знаходиться із початкової умови $V(\alpha_0) = V_0$]

Використовуються відомі залежності Отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{dx}{ds} = \frac{dx}{da} \cdot \frac{da}{ds} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dx}{da} \\ \sin \alpha &= \frac{dy}{ds} = \frac{dy}{da} \cdot \frac{da}{ds} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dy}{da} \\ \frac{dx}{da} &= \rho \cdot \cos \alpha \\ \frac{dy}{da} &= \rho \cdot \sin \alpha \end{aligned} \right\}$$

З врахуванням (2.22.) та (2.24.) після перетворення та інтегрування останніх залежностей маємо:

$$x(\alpha) = \frac{1}{k \cdot g} \cdot \frac{A}{k} \left[\cos \varphi \cdot \ln \frac{\sin(\alpha + \varphi + \Omega)}{\sin(\alpha + \varphi)} - \sin \Omega \cdot \cos(\varphi + \Omega) \cdot \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi + \Omega) \right] + C_1. \quad (2.25.)$$

$$y(\alpha) = \frac{1}{k \cdot g} \cdot \frac{A}{k} \left[-\sin \varphi \cdot \ln \frac{\sin(\alpha + \varphi + \Omega)}{\sin(\alpha + \varphi)} + \sin \Omega \cdot \sin(\varphi + \Omega) \cdot \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi + \Omega) \right] + C_2$$

де постійні інтегрування C_1 та C_2 отримуємо із початкових умов:

$$x(\alpha_0) = 0, y(\alpha_0) = 0$$

$$\frac{da}{ds} = -A \cdot g \cdot A_1^2 \sin(\alpha + \varphi) \sin^2(\alpha + \varphi + \Omega) \quad (2.26.)$$

$$s(a) = \frac{A}{k^2 \cdot g} \cdot \left[-\frac{\sin \Omega}{\sin(\alpha + \varphi + \Omega)} + \cos \Omega \cdot \ln \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha + \varphi + \Omega}{2} \right) - \ln \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha + \varphi}{2} \right) \right] + C_3 \quad (2.27.)$$

Постійна інтегрування C_3 знаходиться із умов $S(a_0) = 0$.

Оскільки

$$\frac{1}{A_1 \sin(\alpha + \varphi + \Omega)} = V = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{da} \cdot \frac{da}{dt}$$

то із урахуванням формули (2.2.6) останній вираз можна перетворити до вигляду:

$$\frac{dt}{da} = \frac{1}{A \cdot g \cdot A_1 \sin(\alpha + \varphi) \cdot \sin(\alpha + \varphi + \Omega)}$$

$$t = \frac{1}{A \cdot g \cdot A_1 \sin \Omega} \cdot \ln \left[C_4 \frac{\sin(\alpha + \varphi + \Omega)}{\sin(\alpha + \varphi)} \right] \quad (2.28.)$$

де $C_4 \frac{\sin(\alpha_0 + \varphi)}{\sin(\alpha_0 + \varphi + \Omega)}$ - постійна інтегрування, яка знаходиться із початкової

умови:

$$a(t) = a_0 \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \Omega}{\frac{e^{k \cdot g \cdot t}}{C_4} - \cos \Omega} \right) - \varphi$$

Система рівнянь (2.25.) із врахуванням останнього виразу визначає рівняння траєкторії руху частки у параметричній формі

Для обґрунтування основних параметрів робочого органа та перевірки адекватності математичної моделі руху частки у просторі було проведено чисельний аналіз польоту гранул із урахуванням дії вітру.

У розрахунках дальності польоту гранули, яка зішшла із першої лопатки, були прийняті такі вихідні дані:

- швидкість вітру $V_B = 1$ м/с,
- щільність добрив - 1000 кг/м³;
- діаметр гранули $R = 0,001-0,005$ м;
- початкова швидкість гранули (V_0) - $18,19$ м/с;
- кут нахилу лопаті до площини обертів диска (α_1) - 13°

в'язкість середовища μ для повітря - 0,000018 кг/(м·с);

кут вильоту (α_0) - 8°.

Підставивши дані у математичну модель руху частки, котрі злетіли із робочого органа, матимемо траєкторію польоту гранули, щоб рівномірно засіяти добривами оброблювану територію, необхідно забезпечити відповідну швидкість руху гранули по диску, кута вильоту та дальності польоту даної частки, засівання трьох смуг.

Із цією метою потрібно зберегти пропорції у траєкторії руху гранули, яка злетіла із першої лопатки. Вона має бути у 3 рази більшою порівняно із траєкторією руху із третьої і дорівнювати 2/3 траєкторії руху середньої лопатки. Цього було досягнуто. Так, швидкість руху гранули найменшої лопатки, то в даному із першої лопатки становить 18,19 м/с, із другої - 11,75 м/с, а дальність польоту відповідно дорівнює 9,94 та 6,35 м. Що стосується останньої, випадку швидкість становить 6,63 м/с, а дальність польоту 3,93 м. Траєкторії руху частинок, котрі не перетинаються у просторі, представлені на рис. 2.4.

З рис. 2.5. слідує, що із лопатки 11 гранули закидаються на відстань 9,94 м, висота зльоту гранули висота зльоту гранули над ґрунтом становить 1,2 м, із лопатки 2 гранули потрапляють на відстань 6,63 м та досягатимуть висоти польоту 0,5 м і з останньої лопатки 3 частки закидатимуться на відстань 3,93 м.

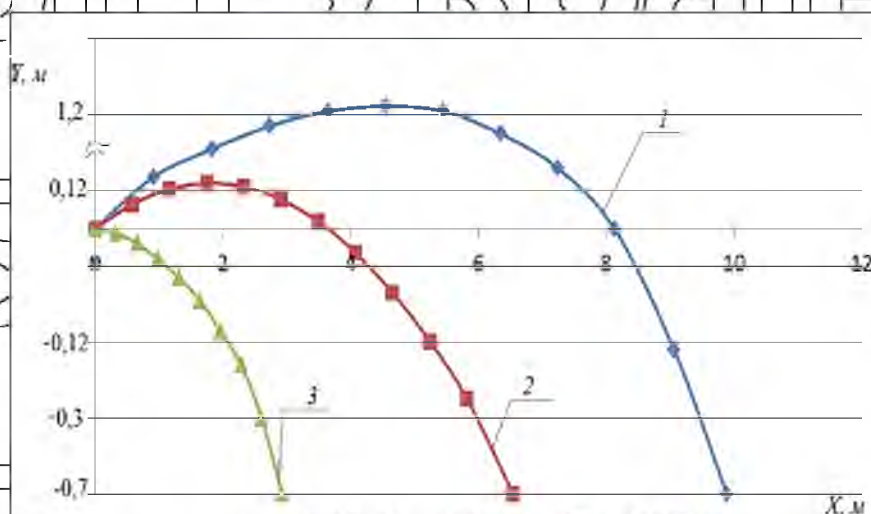


Рис. 2.6. Траєкторії руху частинок, котрі зійшли із проєктованого робочого органу

1 - із лопатки, яка встановлена під кутом 13° ; 2 - із лопатки під кутом 8° ; 3 - із нижнього диска, лопатки, якого встановлені під кутом 0° .

Оскільки у гранул неоднорідний гранулометричний склад і вони мають різний коефіцієнт парусності, то і падатимуть у дійсності не чітко по траєкторіях.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

НУБІП України

Аналітичні дослідження, що проведені на розробленій математичній моделі внесення гранульованих добрив відцентровим дисковим апаратом, дали змогу запропонувати конструктивну схему розкидача оптимальної конструкції, що пропонується на рис. 2.3.

НУБІП України

Отримані результати аналітичних досліджень потребують експериментального підтвердження.

НУБІП України

Мета експериментальних досліджень - підтвердження адекватності розробленої математичної моделі та відпрацювання конструктивних і кінематичних параметрів багатопотокового розкидача мінеральних добрив.

Відповідно до поставленої мети окреслено коло задач, вирішення яких є необхідною і достатньою умовою.

НУБІП України

1. Розробити методики визначення:
 ➤ допустимої швидкості удару гранул по поверхні диска із урахуванням вологості гранул;

➤ впливу вітру на параметри розподілу гранул по поверхні;

НУБІП України

➤ впливу коливань висоти розташування диска та кута нахилу на розподіл гранул по поверхні поля.

2. Розробити конструктивну схему дослідної установки та виготовити стенд.

НУБІП України

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

4. Провести лабораторні експерименти відповідно до програми досліджень.

5. Виконати математичну обробку отриманих результатів.

НУБІП України

6. Визначити оптимальні параметри дискового розкидача.

7. Виготовити дослідний зразок розкидача та провести польові випробування.

3.1. Програма експериментальних досліджень

НУВБІП УКРАЇНИ

Розробленою програмою експериментальних досліджень передбачено проведення лабораторних і польових випробувань.

Лабораторні дослідження включили:

НУВБІП УКРАЇНИ

- визначення основних МТВ добрив, що використовуються у дослідгах;
- встановлення розподілу гранул за геометричними параметрами: частота обертів n диска, об/хв; кути $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ постановки напрямних потоку, град

(рис. 2.3.); кути $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, - кути нахилу лопатей до площини обертів диска, град;

НУВБІП УКРАЇНИ

- розрахунок параметрів розподілу по поверхні окремо від кожного каналу та одночасно від усіх каналів для різного фракційного складу добрива;
- обчислення шляхом багатofакторного експерименту

конструктивних параметрів диска, за яких розподіл є найбільш наближеним до рівномірного;

НУВБІП УКРАЇНИ

- визначення для диска із оптимальними параметрами впливу на кінцевий;
- встановлення впливу на кінцевий розподіл коливань висоти розташування диска та кута нахилу відносно поверхні ґрунту.

Програма польових випробувань передбачала:

НУВБІП УКРАЇНИ

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

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

НУВБІП УКРАЇНИ

3. Проведення порівняльного аналізу якості внесення серійним тарозробленим розкидачами

3.2. Характеристика вихідного матеріалу

НУВБІП УКРАЇНИ

3.2.1. Параметри розподілу гранулометричного складу.

Як відомо, [33, 42, 68], показник фракційного складу гранул не є сталою величиною, хоча багато у чому і визначає їх розподіл по поверхні ґрунту.

Задачею досліджень було створення робочого органу, у якому вплив цього параметра був би зведений до мінімуму.

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

Відомо [42], що виробники мінеральних добрив орієнтуються на розмір гранул 1,0-5 мм. Менші за розміром гранули суттєво відрізняються за решітного класифікатора нами обраний такий крок діаметрів отворів: 5 - 4 - 3 -

2 - 1,0 мм.

Добрива висипали у верхнє решето класифікатора і по чергово просіювали на решетах (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Решітний класифікатор фракційного складу.

Окремі фракції зважували і підраховували їх відсотковий вміст. Додатково обчислювали коефіцієнт структуристості

$$K_{ст} = \frac{A}{B-A} \quad (3.1.)$$

де A - маса гранул у діапазоні 1,0-5 мм;

B - загальна маса взятої проби.

3.2.2. Механіко-технологічні властивості добрив.

У ході експерименту встановлювали основні механіко-технологічні

власності добрив, що використовувалися для досліджень.

Для визначення вологості, питомої ваги, коефіцієнтів внутрішнього та зовнішнього тертя, коефіцієнта відновлення при ударі застосовували стандартні методики [68, 76, 82]. Оригінальними можна вважати методики визначення допустимої швидкості удару гранул об металеву поверхню та встановлення їх аеродинамічних властивостей.

Допустиму швидкість удару розраховували за наступною схемою - рис 3.2.

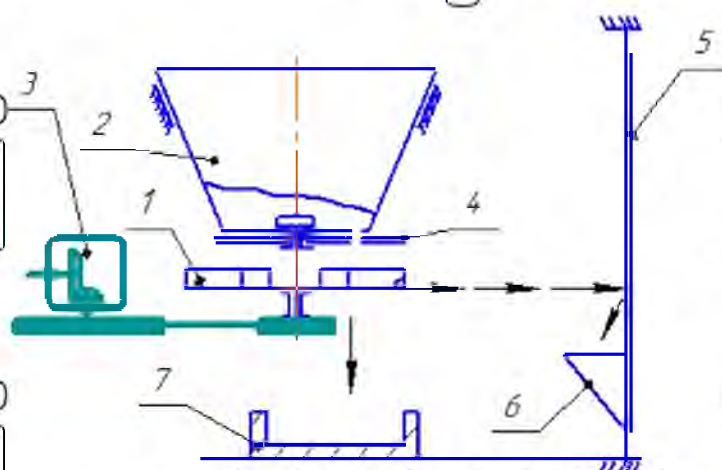


Рис. 3.2. Схема до визначення допустимої швидкості удару гранули добрива по металевій поверхні.

Лабораторна установка складається із лопатевого вала 1 із вертикальною віссю обертання, бункера 2, механізму приводу із встановленим тахеометром 3, дозатора 4, світлопоглинального екрана 5, збірника відпрацьованого матеріалу - кармана 6 та лотка 7.

Перед початком роботи відбирали 1,0-2 кг досліджуваного добрива і визначали його гранулометричний склад. Фракції, менші за 10 мм та більші за 50 мм відкидали. Добрива завантажували у бункер, включаючи електродвигун і тиристорним регулятором встановлювали початкову швидкість обертів ротора. Відкривали заслінку бункера і спрямовували потік у зону дії лопатей. При потраплянні на лопать добрива, відбиваються у напрямку збірника 6. Не відбиті гранули потрапляють у лоток 7. Гранули зі збірника 6 і лотка 7 змішували і визначали фракційний склад. Результат порівнювали із вихідним.

Експеримент проводять поступово збільшуючи швидкість обертів до фіксування різниці за масою дрібних фракцій, що свідчить про наявність травмування. Швидкість удару визначали як

$$V = \omega \cdot R, \quad (3.2.)$$

де ω - кутова швидкість, c^{-1} ;

R - відстань від центра обертів до точки контакту, м.

Щодо вологості гранул, то вона надзвичайно впливає на допустиму швидкість удару.

Коефіцієнт парусності розраховували за формулою:

$$K_{\Pi} = \frac{g}{v^2} \quad (3.3.)$$

де g - прискорення вільного падіння,

v - критична швидкість.

Критичну швидкість встановлювали на парусному класифікаторі дещо зміненої конструкції (рис. 3.3.), у якому швидкість потоку заміряли безпосередньо анемометром 3.

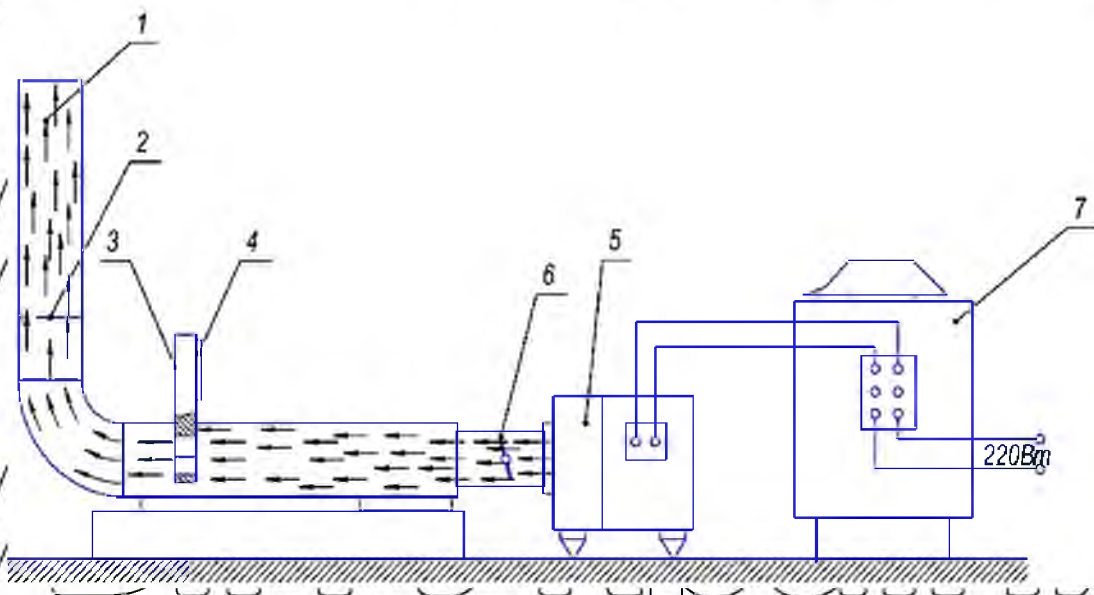


Рис.3.3. Схема модифікованого парусного класифікатора:

1 - труба; 2 - сітка; 3 - анемометр; 4 - екран анемометра; 5 -

дросель; 6 - вентилятор; 7 - трансформатор



Рис. 3.4. Використаний у дослідях анемометр DF318.

У пристрої повітряний потік утворюється вентилятором 5, який живиться від трансформатора 7. Швидкість потоку регулюється заслінкою 6. Застосування анемометра 3, на відміну від трубки Піто, дозволяє безпосередньо заміряти швидкість без виконання допоміжних розрахунків. До того ж конструкція анемометра (рис. 3.4.) сприяє вирівнюванню потоку, тобто робить його ламінарним.

3.3. Лабораторні дослідження

3.3.1. Конструкція лабораторної установки

Для виконання програми лабораторних досліджень нами була виготовлена спеціальна лабораторна установка (рис. 3.5).

Установка складається із рами, на якій у підшипниковій опорі із можливістю вільного обертів встановлено дослідний диск 2 зі змінними лопатями 3 (рис. 3.6). До диска пасовою передачею підведений обертальний момент від редуктора 7, який живиться від колекторного електродвигуна змінного струму, що дозволяє регулювати частоту його обертання. Над диском встановлений бункер 1 із дозатором 4, який подає гранули добрив на диск.

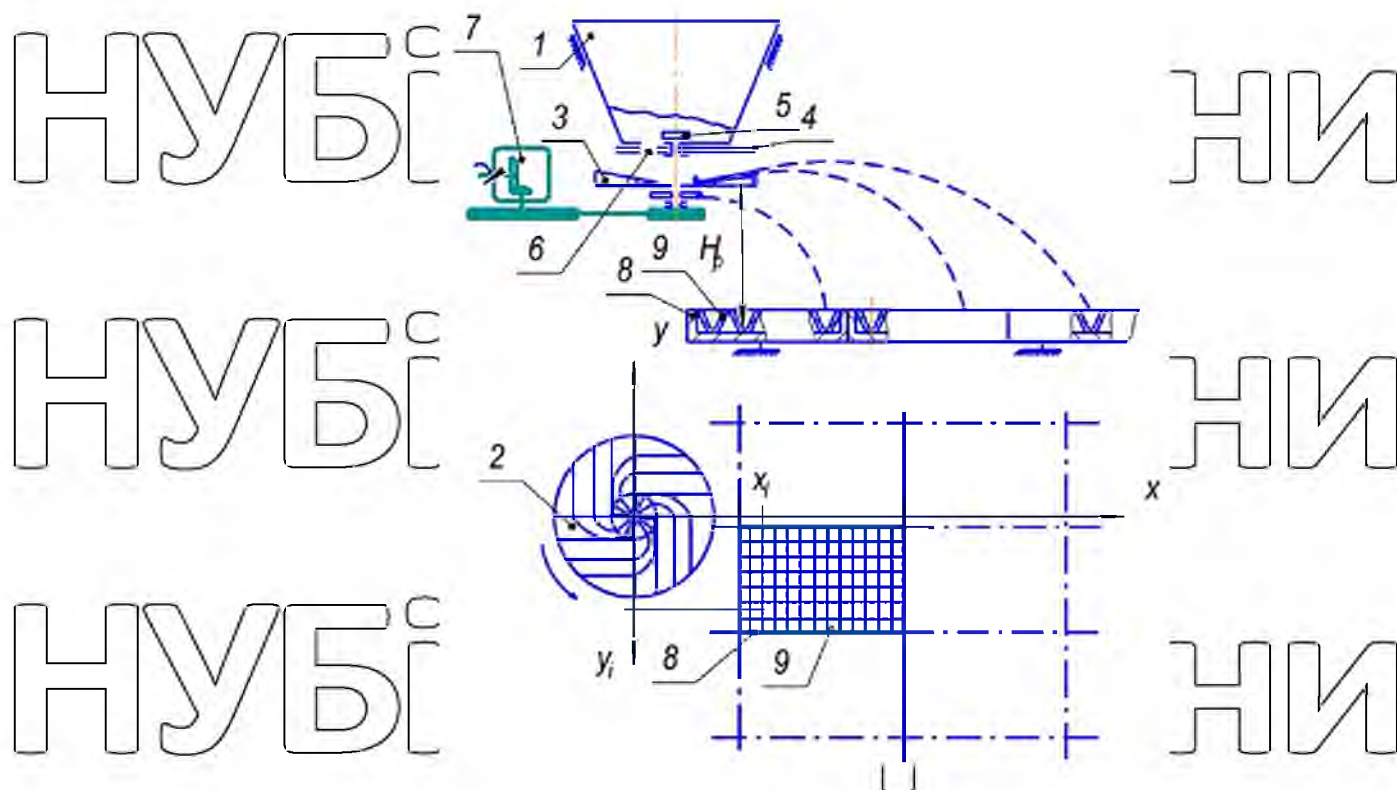


Рис. 3.5. Схема лабораторної установки:

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

Для запобігання утворення у бункері встановлений гумовий активатор 5 (запозичений зі сівалки СУПН-8). Для визначення параметрів розподілу були використані спеціальні лотки 8 (рис. 3.7.).



а)



б)

Рис. 3.6. Дослідний зразок диска:

а - вид збоку; б - вид зверху.

Особливістю лотка є те, що у ньому встановлено пробовідбірники, котрі

приймають падаючі гранули. Це надає можливості покоординатно (X_1, Y_1 , рис. 3.5.) визначити розподіл гранул.



Рис. 3.7. Ваги для зважування гранул.

У дослідній лабораторній установці також задіяні електронні ваги «Центровес» (на схемі не показано - рис. 3.7.).

3.3.2. Порядок виконання досліджень.

Лабораторні дослідження виконували у два етапи: без впливу та із впливом вітру на результати розподілу. На першому етапі (без впливу вітру) визначали оптимальні параметри розкидача, на другому - перевіряли адекватність розробленої математичної моделі.

Особливість досліджень полягала у кількості повторів, як це вимагає OST 70. [75, 76]. Це потребувало постійного контролю механіко-технологічних властивостей добрива і особливо гранулометричного складу. У разі відхилень - параметри вихідного матеріалу корегували додаванням гранул певного гранулометричного діапазону.

У всіх експериментах використовували однакову масу технологічного матеріалу - 5 кг.



Рис. 3.8. Зовнішній вид механізму приводу диска.

Перед початком експерименту лотки, із встановленими пробовідбірниками, розміщали на поверхні у такий спосіб, щоб максимально перекрити ширину захвату. Бункер 1 заповнювали технологічним матеріалом (рис. 3.5.). За допомогою попередньо відградуйованого тиристорного регулятора встановлювали необхідну частоту обертів і лабораторну установку приводили у дію до повної витрати технологічного матеріалу. По закінченні експерименту пробовідбірники 9 виймали із лотка, фіксували координати їх положення відносно осі диска і зважували.

Дію вітру моделювали шляхом встановлення лопатевого вентилятора. Оскільки параметри розподілу без дії вітру нами були попередньо прокоординатно встановлені, у дослідах використовували тільки один лоток. Швидкість і напрямок потоку повітряного регулювали зміною положення вентилятора 3 відносно лотка 2 (рис. 3.9.). Швидкість потоку заміряли анемометром 4.

3.3.3. Методика статистичної обробки результатів досліджень.

Після проведення кожного етапу експерименту гранули у кожному пробовідбірнику зважували і знаходили середнє

$$X_{ср} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.4.)$$

де X_i - маса гранул, взятих у окремому пробовідбірнику;

Знаходили середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{CP})^2} \quad (3.5.)$$
 Розраховували коефіцієнт варіації v , який ґрунтовно дорівнює нерівномірності внесення P у відсотковому представленні

$$v = \frac{\sigma}{X_{CP}} \quad (3.6.)$$

$$P = 100 \cdot v \quad (3.7.)$$
 де P - нерівномірність внесення, %.

3.4. Польові випробування

Польові випробування виконували із використанням серійних машин МВД-900 та МВУ-0,5, Garret-500, оснащених дисками, запропонованої нами конструкції (рис. 3.12.).

Габарити диска, його елементи кріплення та приводу повністю відповідали серійному зразку диска. Єдиною відмінністю було встановлення на валу спеціального перехідника, що надавало можливості змінювати висоту положення диска над рівнем ґрунту.

Забезпечення стикового перекриття здійснювалось за допомогою GPS навігатора (рис. 3.9.).



Рис. 3.9. Забезпечення стикового перекриття за допомогою навігатора.

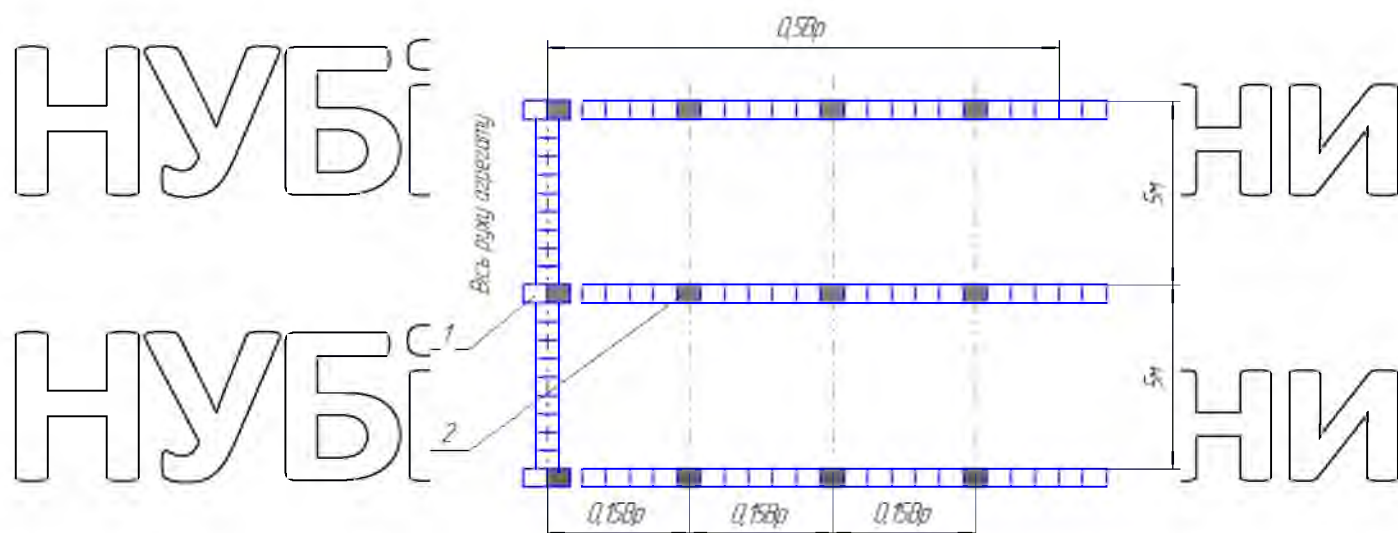


Рис. 3.10. Схема розміщення лотків для визначення рівномірності внесення добрива:

1 - лотки без пробовідбірників; 2 - лотки із пробовідбірниками.

Для оцінки рівномірності поверхневого розподілу гранул на полі були розташовані лотки (рис. 3.11.), аналогічні тим, що використовувалися у лабораторних дослідках. Лотки встановлювали на рівну ділянку плантації щільно один до одного. По лінії проходу коліс лотків не розміщувати (рис. 3.10.).



Рис. 3.11. Розміщення лотків по полю для визначення рівномірності внесення добрива.

Для уточнення параметрів розподілу у окремі лотки були встановлені пробовідбірники, що дозволяло оцінювати параметри поперечного розподілу у більш вузькому діапазоні (рис. 3.10). Суть експерименту полягала у тому, що агрегат у робочому стані три рядки лотків, добрива із рядків збирали у окрему тару, проба зважували. У подальшому обробку отриманих результатів

виконувати за методикою, викладеною у п.3.3.3.

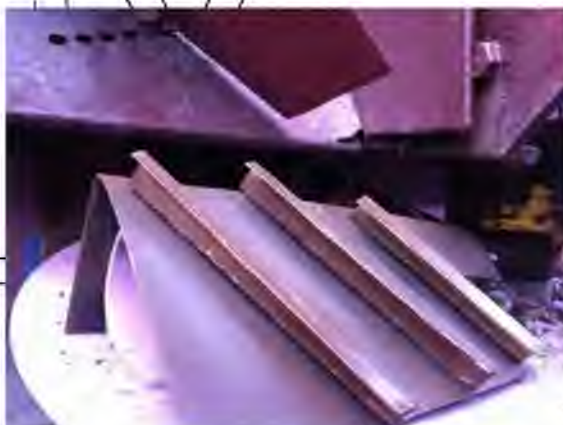


Рис. 3.12. Підготовка до роботи розкидача мінеральних добрив МВУ-0,5

із запропонованим диском.

Для проведення експерименту нами були внесені деякі зміни – збільшено простір між конічним редуктором та бункером розкидача за допомогою викрутотка двох гумових проставок на самому корпусі бункера та замінено вал - використано довший на 9 см.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ЛАБОРАТОРНИХ І
ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

НУБІП України

4.1. Механіко-технологічні властивості використаних у експерименті добрив

Лабораторні та польові дослідження проводили із використанням найбільш розповсюджених гранульованих добрив, а саме: аміачної селітри, суперфосфату, суміші *НРК*. Враховуючи великий вплив механіко-технологічних властивостей задіяних у кінцевий розподіл по поверхні ґрунту, перед початком робіт визначали їхні основні властивості відповідно до методик, наведених у третьому розділі. Результати представлені у табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1.

Фізико-механічні властивості використаних у експерименті добрив

| Вид добрива | Вологість, % | Об'ємна маса, т/м^3 | Кут тертя, град по металу | внутрішній | Максимально допустима швидкість удару по металевій поверхні, м/с |
|---------------------------|--------------|------------------------------|---------------------------|------------|--|
| Аміачна селітра | 1,5-2,1 | 0,79-0,85 | 31-35 | 39-43 | 10,2 |
| Суперфосфат | 4,4-4,9 | 1,13-1,19 | 26-34 | 31-35 | 11,3 |
| Суміш органіко-мінеральна | 5,8-6,7 | 1,03-1,12 | 30-35 | 40-44 | 9,7 |

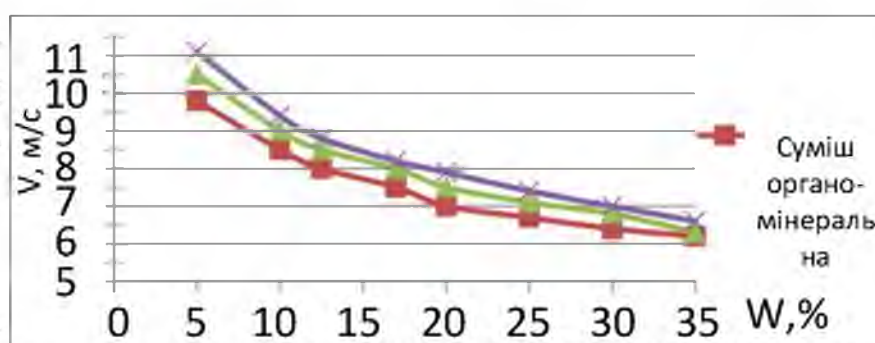


Рис. 4.1) Залежність максимальної допустимої швидкості удару по металевій поверхні від вологості гранул.

Таблиця 4.2.

Гранулометричний склад та аеродинамічні властивості використаних у експерименті добрив

| Вид добрива | Гранулометричний склад, за масою | | | | | | | | | Виміряна критична швидкість, м/с | | | Розрахований коефіцієнт парусності | | |
|----------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|-------|-----|-----|------|----------------------------------|-------|-------|------------------------------------|--|--|
| | Розмір фракції, мм | | | | | | | | | | | | | | |
| | > 5 | 5-4 | 4-3 | 3-2 | 2-1 | < 1,0 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | 1-2 | 2-3 | 3-5 | | | |
| Аміачна селітра | 1,5 | 12,3 | 39,7 | 24,9 | 21,4 | 0,2 | 7,9 | 9,4 | 10,0 | 0,157 | 0,111 | 0,081 | | | |
| Суперфосфат | 0,7 | 2,6 | 22,8 | 49,9 | 20,6 | 3,4 | 8,2 | 9,9 | 11,6 | 0,146 | 0,100 | 0,073 | | | |
| Суміш органічно-мінеральна | 2,3 | 38,4 | 31,0 | 21,9 | 5,3 | 1,1 | 7,8 | 9,6 | 12,3 | 0,161 | 0,106 | 0,064 | | | |

Коефіцієнт структурності по видах добрив:

- аміачна селітра - 0,983
- суперфосфат - 0,959
- суміш органічно-мінеральна - 0,966

4.2. Лабораторні дослідження впливу конструктивних параметрів диску та потоку повітряного на якість розподілу добрив по поверхні

Виконані аналітичні дослідження запропонованого нами розкидача показують, що найбільший вплив на якісні показники розподілу гранул по поверхні мають такі параметри:

- частота обертів n диска, об/хв;
- кути α_1 , α_2 , α_3 нахилу лопатей, відповідно довгої, середньої та найменшої до площини обертів диска, град.

Вплив кутів α_1 , α_2 , α_3 на якість внесення мінеральних добрив значний, проте вони не будуть занадто відрізнятися один від одного. Таким чином, ми маємо 5 значущих параметрів, що вельми ускладнює проведення багатфакторного експерименту. Тому було прийнято рішення розбити експеримент на два етапи:

- на першому - прийняти кут γ однаковим для всіх трьох напрямних лопаток, що дає змогу експеримент зробити трифакторним і знайти оптимальні

значення n , α ;

на другому етапі, прийнявши оптимальні значення n та α , провести експеримент із визначення оптимальних значень кута γ для кожної напрямної окремо.

4.2.1. Кут постановки напрямних ребер на доп'ятках приймаємо однаковим.

Кількість найбільш значущих конструктивних параметрів дорівнює трьом. Тому для досліджень нами прийнятий симетричний трифакторний експеримент плану $3 \times 3 \times 3$. Рівні варіювання факторів обрані на підставі аналізу попередньо проведених експериментів.

Відповідно до плану рівні варіювання факторів представлені у табл. 4.3.

Таблиця 4.3.

Рівні варіювання факторів першого етапу досліджень

| Фактор | Код | Рівні факторів | | |
|--|-------|----------------|-----|-----|
| | | -1 | 0 | +1 |
| Частота обертів диска n , об/хв | X_1 | 490 | 540 | 590 |
| | X_2 | 11 | 13 | 15 |
| Кут постановки ребер, що направляють потік γ , град | X_3 | 90 | 100 | 110 |

Рівні варіювання факторів обрані виходячи із таких міркувань:

1) частота обертів диска на підставі даних аналізу кінематичних режимів роботи найбільш поширених конструкцій відомих виробників - перекриває діапазон більшості машин;

2) напрямні спрямовують потік доорив і принциповим є питання під негативним чи позитивним кутом до напрямку вектора колової швидкості:

- $\gamma = 80^\circ$ - кут позитивний
- $\gamma = 90^\circ$ - співпадає із напрямком вектора колової швидкості
- $\gamma = 100^\circ$ - кут негативний

3) кут α повинен забезпечити рознесення потоків після сходу із напрямних у просторі. Він був взятий із розрахунків розділу 2.1. для першої

напрямної потоку.

НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 4.4

Матриця експерименту першого етапу досліджень

| № досліду | X ₀ | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₁ ² | X ₂ ² | X ₃ ² | X ₁ X ₂ | X ₁ X ₃ | X ₂ X ₃ | Нерівномірність внесення, % | | Нев'язка |
|-----------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------|----------|
| | | | | | | | | | | | Факт. | Розрах. | |
| 1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 20,17 | 20,02 | 0,15 |
| 2 | +1 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | +1 | 0 | 0 | 15,70 | 15,49 | 0,21 |
| 3 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | 17,29 | 17,06 | 0,23 |
| 4 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | +1 | 0 | +1 | 0 | 18,53 | 18,61 | 0,08 |
| 5 | +1 | +1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17,46 | 17,33 | 0,13 |
| 6 | +1 | +1 | 0 | -1 | +1 | 0 | +1 | 0 | -1 | 0 | 16,19 | 16,27 | 0,08 |
| 7 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | 18,72 | 18,36 | 0,36 |
| 8 | +1 | +1 | -1 | 0 | +1 | +1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 17,47 | 17,39 | 0,22 |
| 9 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | 16,24 | 16,64 | 0,4 |
| 10 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | 0 | +1 | 18,03 | 18,82 | 0,79 |
| 11 | +1 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17,19 | 17,45 | 0,26 |
| 12 | +1 | 0 | +1 | -1 | 0 | +1 | +1 | 0 | 0 | -1 | 16,56 | 16,30 | 0,26 |
| 13 | +1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 17,34 | 17,39 | 0,05 |
| 14 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16,21 | 16,33 | 0,12 |
| 15 | +1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 18,33 | 14,43 | 3,9 |
| 16 | +1 | 0 | -1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | 0 | -1 | 17,32 | 17,12 | 0,2 |
| 17 | +1 | 0 | -1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16,66 | 16,37 | 0,29 |
| 18 | +1 | 0 | -1 | -1 | 0 | +1 | +1 | 0 | 0 | +1 | 16,08 | 15,84 | 0,24 |
| 19 | +1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | 19,02 | 18,48 | 0,54 |
| 20 | +1 | -1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 17,50 | 17,33 | 0,17 |
| 21 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | 16,00 | 16,40 | 0,4 |
| 22 | +1 | -1 | 0 | +1 | +1 | 0 | +1 | 0 | -1 | 0 | 17,21 | 17,03 | 0,18 |
| 23 | +1 | -1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16,43 | 16,19 | 0,24 |
| 24 | +1 | -1 | 0 | -1 | +1 | 0 | +1 | 0 | +1 | 0 | 15,11 | 15,57 | 0,46 |
| 25 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | 16,22 | 16,74 | 0,52 |
| 26 | +1 | -1 | -1 | 0 | +1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 16,11 | 16,21 | 0,1 |
| 27 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 16,23 | 15,90 | 0,33 |
| | $\sum Y = +461,02$ | $\sum X_1 = +10,27$ | $\sum X_2 = +9,64$ | $\sum X_3 = +17,16$ | $\sum X_1^2 = +309,93$ | $\sum X_2^2 = +310,81$ | $\sum X_3^2 = +307,96$ | $\sum X_1X_2 = -0,30$ | $\sum X_1X_3 = +2,59$ | $\sum X_2X_3 = +3,66$ | | | |

Рівняння регресії у загальному вигляді:

$$S = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i=1}^3 b_{ij} x_i^2 + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j$$

Для визначення коефіцієнтів рівняння скористаємося методикою [19].

Значення постійних для визначення коефіцієнтів регресії:

$$A_0 = 0,25926; \\ A_{01} = A_{02} = A_{03} = 0,11111; A_1 = A_2 = A_3 = 0,05556, A_{11} = A_{22} = A_{33} = 0,16667, \\ A_{12} = A_{13} = A_{23} = 0,08333.$$

Коефіцієнти рівняння регресії

$$b_0 = A_0(OY) - A_{01}(11Y) - A_{02}(22Y) - A_{03}(33Y) =$$

$$= 0,25926 \cdot 461,02 - 0,11111 \cdot (309,93 + 310,81 + 307,96) = 16,33$$

$$b_1 = A_1(1Y) = 0,05556 \cdot 10,27 = 0,57$$

$$b_2 = A_2(2Y) = 0,05556 \cdot 9,64 = 0,54$$

$$b_3 = A_3(3Y) = 0,05556 \cdot 17,16 = 0,95$$

$$b_{12} = A_{12}(12Y) = 0,08333 \cdot (-0,30) = -0,02$$

$$b_{13} = A_{13}(13Y) = 0,08333 \cdot 2,59 = 0,22$$

$$b_{23} = A_{23}(23Y) = 0,08333 \cdot 3,66 = 0,31$$

$$b_{11} = A_{11}(11Y) - A_{01}(OY) = 0,16667 \cdot 309,93 - 0,11111 \cdot 461,02 = 0,43$$

$$b_{22} = A_{22}(22Y) - A_{02}(OY) = 0,16667 \cdot 310,81 - 0,11111 \cdot 461,02 = 0,58$$

$$b_{33} = A_{33}(33Y) - A_{03}(OY) = 0,16667 \cdot 307,96 - 0,11111 \cdot 461,02 = 0,11$$

$$P = 16,33 + 0,57X_1 + 0,54X_2 + 0,95X_3 + 0,43X_1^2 + 0,58X_2^2 + 0,11X_3^2 \\ - 0,22X_1X_2 + 0,22X_1X_3 + 0,31X_2X_3$$

де P - нерівномірність розподілу гранул.

Матриця включає всі можливі варіанти конструктивного виконання диска. Відповідно до матриці виконані експерименти та отримані значення нерівномірності за загальновідомими методиками [19, 57].

Таблиця 4.5.

Розрахункові дані критерію Фішера першого етапу досліджень

| № дослідж. | Нерівномірність внесення, % | | | № дослідж. | Нерівномірність внесення, % | | | $F_{\text{екс}} = X_{\text{теор}} / X_{\text{факт}}$ |
|------------|-----------------------------|-----------------|---------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|---------------------|--|
| | P | $P_{\text{ср}}$ | $X^2_{\text{факт}}$ | | P | $P_{\text{ср}}$ | $X^2_{\text{теор}}$ | |
| | фактична | | | розрахункова | | | | |
| 1 | 20,17 | 17,0748 | 0,01314 | 1 | 20,92 | 16,928 | 0,01311 | 0,9976 |
| 2 | 15,7 | 17,0748 | 0,00259 | 2 | 15,49 | 16,928 | 0,00283 | 1,0948 |

| | | | | | | | | |
|----|-------|---------|---------|----|-------|--------|---------|--------|
| 3 | 17,29 | 17,0748 | 0,00006 | 3 | 17,06 | 16,928 | 0,00002 | 0,3733 |
| 4 | 18,53 | 17,0748 | 0,00290 | 4 | 18,61 | 16,928 | 0,00387 | 1,3352 |
| 5 | 17,46 | 17,0748 | 0,00020 | 5 | 17,33 | 16,928 | 0,00022 | 1,0863 |
| 6 | 16,19 | 17,0748 | 0,00107 | 6 | 16,27 | 16,928 | 0,00059 | 0,5539 |
| 7 | 18,72 | 17,0748 | 0,00371 | 7 | 18,36 | 16,928 | 0,00281 | 0,7570 |
| 8 | 17,17 | 17,0748 | 0,00001 | 8 | 17,39 | 16,928 | 0,00029 | 23,505 |
| 9 | 16,24 | 17,0748 | 0,00095 | 9 | 16,64 | 16,928 | 0,00010 | 0,1194 |
| 10 | 18,03 | 17,0748 | 0,00125 | 10 | 18,82 | 16,928 | 0,00490 | 3,9212 |
| 11 | 17,19 | 17,0748 | 0,00001 | 11 | 17,45 | 16,928 | 0,00037 | 20,496 |
| 12 | 16,56 | 17,0748 | 0,00036 | 12 | 16,3 | 16,928 | 0,00054 | 1,4905 |
| 13 | 17,34 | 17,0748 | 0,00009 | 13 | 17,39 | 16,928 | 0,00029 | 3,0283 |
| 14 | 16,21 | 17,0748 | 0,00102 | 14 | 16,33 | 16,928 | 0,00049 | 0,4789 |
| 15 | 18,33 | 17,0748 | 0,00216 | 15 | 14,43 | 16,928 | 0,00856 | 3,9623 |
| 16 | 17,32 | 17,0748 | 0,00008 | 16 | 17,12 | 16,928 | 0,00005 | 0,6098 |
| 17 | 16,66 | 17,0748 | 0,00023 | 17 | 16,37 | 16,928 | 0,00042 | 1,8128 |
| 18 | 16,08 | 17,0748 | 0,00135 | 18 | 15,84 | 16,928 | 0,00162 | 1,1972 |
| 19 | 19,02 | 17,0748 | 0,00519 | 19 | 18,48 | 16,928 | 0,00330 | 0,6361 |
| 20 | 17,50 | 17,0748 | 0,00024 | 20 | 17,33 | 16,928 | 0,00022 | 0,8916 |
| 21 | 16,00 | 17,0748 | 0,00158 | 21 | 16,4 | 16,928 | 0,00038 | 0,2417 |
| 22 | 17,21 | 17,0748 | 0,00002 | 22 | 17,03 | 16,928 | 0,00001 | 0,5635 |
| 23 | 16,43 | 17,0748 | 0,00057 | 23 | 16,19 | 16,928 | 0,00074 | 1,3117 |
| 24 | 15,11 | 17,0748 | 0,00529 | 24 | 15,57 | 16,928 | 0,00253 | 0,4780 |
| 25 | 16,22 | 17,0748 | 0,00100 | 25 | 16,74 | 16,928 | 0,00004 | 0,0486 |
| 26 | 16,11 | 17,0748 | 0,00127 | 26 | 16,21 | 16,928 | 0,00070 | 0,5546 |
| 27 | 16,23 | 17,0748 | 0,00097 | 27 | 15,9 | 16,928 | 0,00145 | 1,4821 |

Отримано рівняння регресії та обчислені значення нерівномірності внесення мінеральних добрив. Необхідно його перевірити на сходження. Для цього обираємо критерій Фішера:

$$F_{\text{екс}} < F \quad F = 1,82.$$

Дослідимо поведінку отриманої залежності за відсутності впливу одного із факторів:

$$X_1 = 0$$

$$P = 16,33 + 0,54X_2 + 0,95X_3 + 0,58X_2^2 + 0,11X_3^2 + 0,31X_2X_3$$

$$P_{(\text{MIN})} = 15,84$$

$$P_{(\text{MAX})} = 18,82$$

$$P = 16,33 + 0,57X_1 + 0,95X_2 + 0,43X_1^2 + 0,11X_2^2 + 0,22X_1X_2$$

$X_3 = 0$

$$P_{(MIN)} = 15,57$$

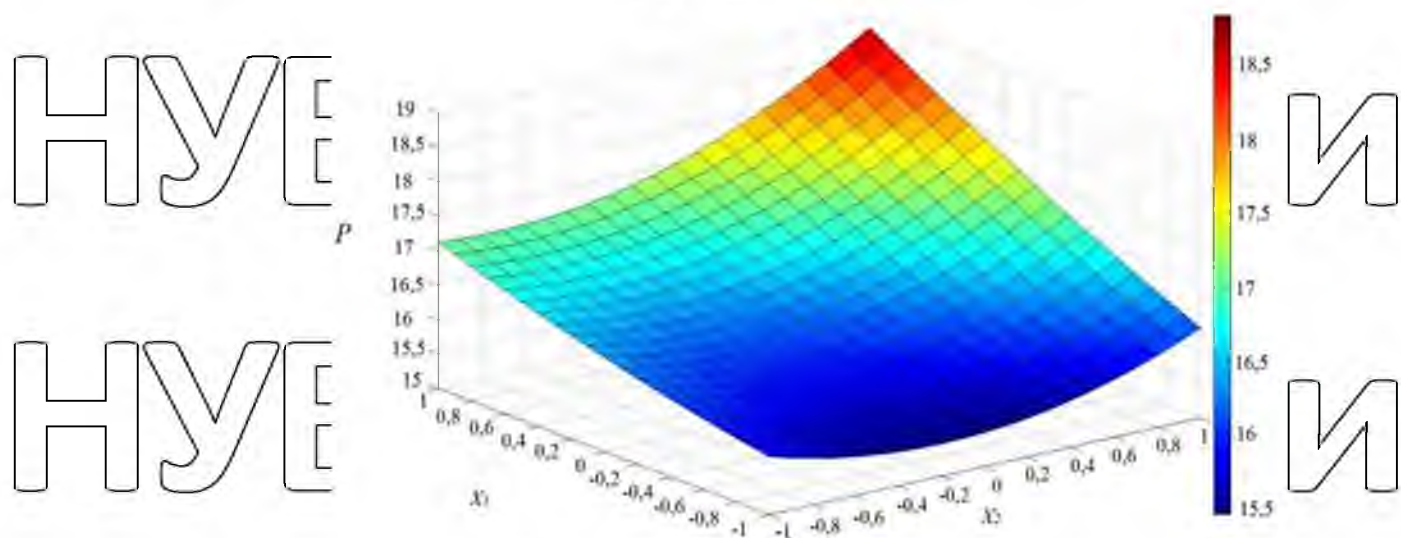
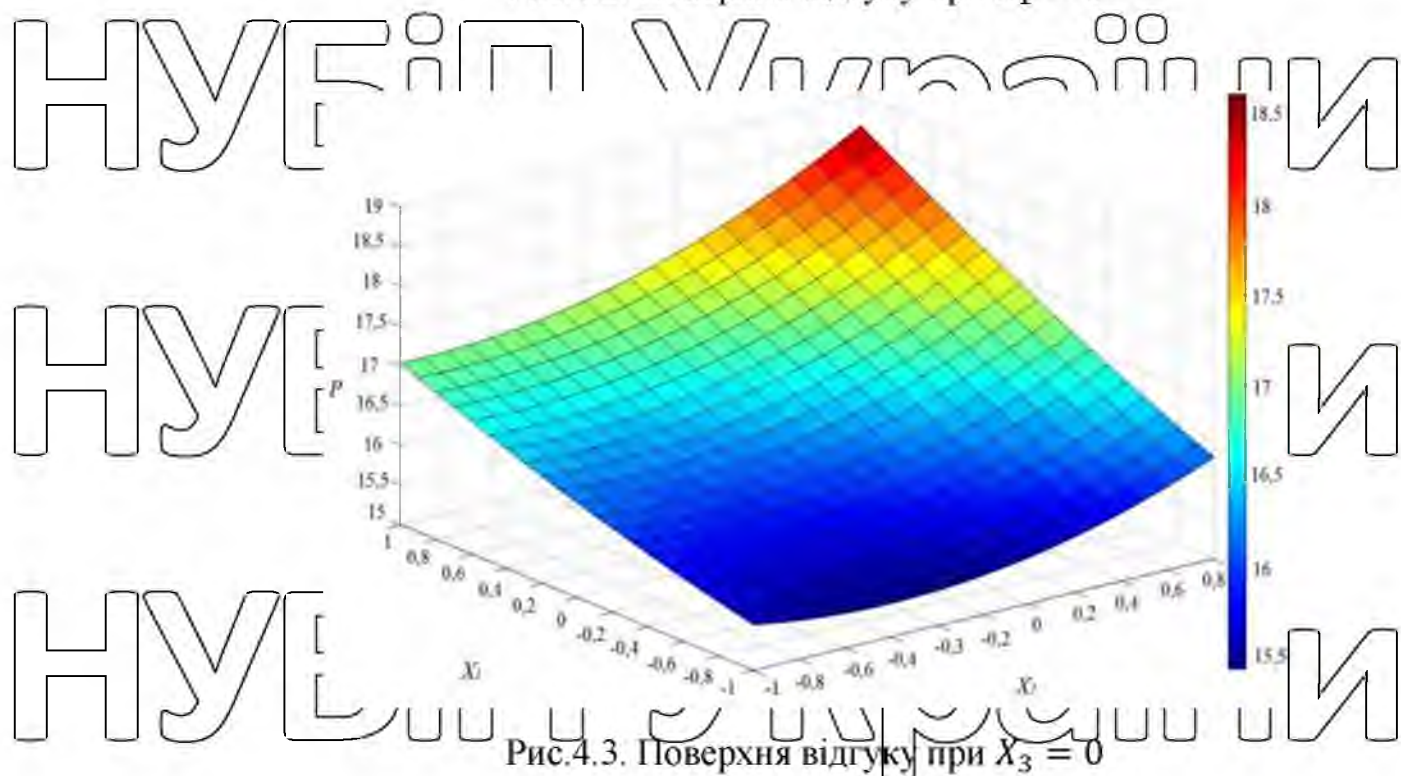
$$P_{(MAX)} = 18,61$$

$$P = 16,33 + 0,57X_1 + 0,54X_2 + 0,43X_1^2 + 0,58X_2^2 - 0,22X_1X_2$$

$X_3 = 0$

$$P_{(MIN)} = 16,21$$

$$P_{(MAX)} = 18,43$$

Рис.4.2. Поверхня відгуку при $X_1 = 0$ Рис.4.3. Поверхня відгуку при $X_3 = 0$

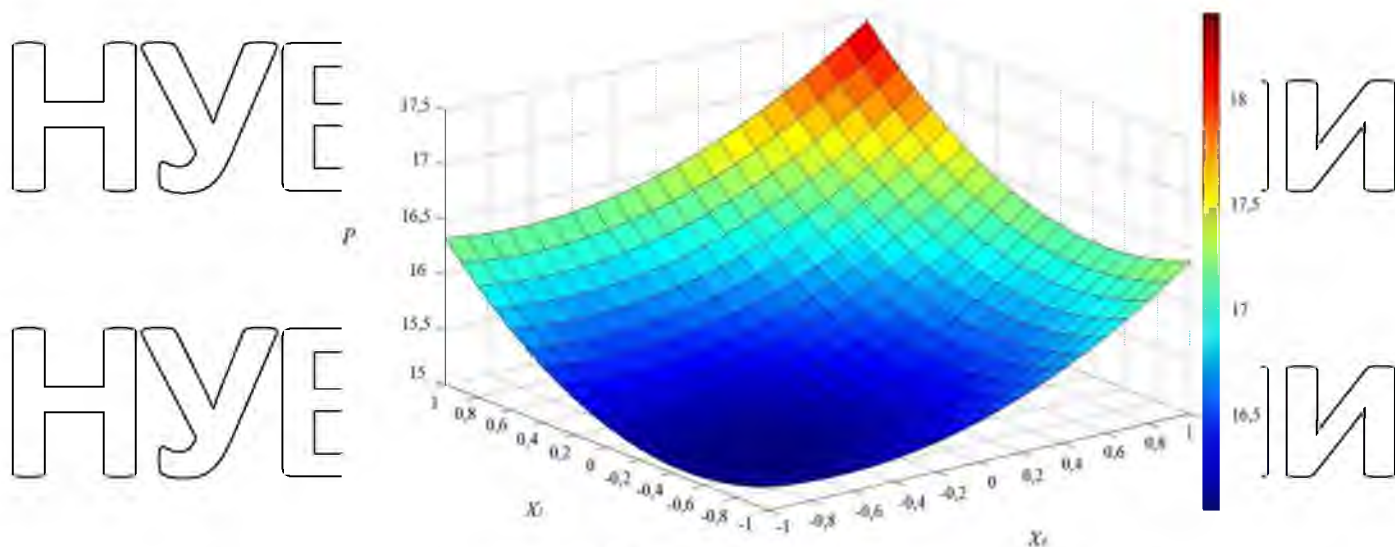


Рис. 4.4. Поверхня відгуку при $X_2 = 0$

Аналіз рівняння регресії показує, що абсолютний мінімум відповідає значенням: $X_1 = 0$; $X_2 = 0$; $X_3 = -1$, що відповідає значенням:

- частота обертів диска $n = 540$ об/хв;
- кут α нахилу доплітки до площини обертів диска - 13° ;
- кут γ постановки ребер, направляючих потік - 90° .

4.2.2. Вплив кутів постановки ребер, що направляють потік.

У наступному етапі досліджуємо вплив на якісні показники розподілу кута γ постановки ребер, що направляють потік. Рівні варіювання факторів представлені у табл. 4.6, матриця експерименту - табл. 4.7.

Таблиця 4.6.

Рівні варіювання факторів другого етапу досліджень

| Фактор | Код | Рівні факторів | | |
|-------------------|-------|----------------|----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 |
| γ_1 , град | X_1 | 70 | 90 | 110 |
| γ_2 , град | X_2 | 75 | 90 | 105 |
| γ_3 , град | X_3 | 80 | 90 | 100 |

Таблиця 4.7.

Матриця експерименту другого етапу досліджень

| № досліду | X_0 | X_1 | X_2 | X_3 | X_1^2 | X_2^2 | X_3^2 | X_1X_2 | X_1X_3 | X_2X_3 | Періодичність внесення, % | | Нев'язка |
|-----------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------------------------|---------|----------|
| | | | | | | | | | | | факт | Розрах. | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 17,03 | 17,54 | 0,51 |
| 2 | +1 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | +1 | 0 | 0 | 17,86 | 16,33 | 1,53 |
| 3 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | 16,00 | 15,12 | 0,88 |
| 4 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | +1 | 0 | +1 | 0 | 16,03 | 16,28 | 0,25 |
| 5 | +1 | +1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,86 | 15,20 | 0,66 |
| 6 | +1 | +1 | 0 | -1 | +1 | 0 | +1 | 0 | -1 | 0 | 13,89 | 14,12 | 0,23 |
| 7 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | 15,75 | 15,40 | 0,35 |
| 8 | +1 | +1 | -1 | 0 | +1 | +1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 14,96 | 14,45 | 0,51 |
| 9 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | 14,88 | 13,50 | 1,38 |
| 10 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | 0 | +1 | 18,31 | 18,08 | 0,23 |
| 11 | +1 | 0 | +1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17,29 | 17,01 | 0,28 |
| 12 | +1 | 0 | +1 | -1 | 0 | +1 | +1 | 0 | 0 | -1 | 15,01 | 15,94 | 0,93 |
| 13 | +1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 15,99 | 16,64 | 0,65 |
| 14 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,10 | 14,00 | 0,1 |
| 15 | +1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 14,15 | 14,76 | 0,61 |
| 16 | +1 | 0 | -1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | 0 | -1 | 15,01 | 15,58 | 0,57 |
| 17 | +1 | 0 | -1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,09 | 14,77 | 0,32 |
| 18 | +1 | 0 | -1 | -1 | 0 | +1 | +1 | 0 | 0 | +1 | 14,21 | 13,96 | 0,25 |
| 19 | +1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | 18,63 | 18,20 | 0,43 |
| 20 | +1 | -1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 17,51 | 17,27 | 0,24 |
| 21 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | 15,96 | 16,34 | 0,38 |
| 22 | +1 | -1 | 0 | +1 | +1 | 0 | +1 | 0 | -1 | 0 | 15,99 | 16,58 | 0,59 |
| 23 | +1 | -1 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16,88 | 15,78 | 1,1 |
| 24 | +1 | -1 | 0 | -1 | +1 | 0 | +1 | 0 | +1 | 0 | 15,11 | 14,98 | 0,13 |
| 25 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | 15,54 | 15,34 | 0,2 |
| 26 | +1 | -1 | -1 | 0 | +1 | +1 | 0 | +1 | 0 | 0 | 15,00 | 14,67 | 0,33 |
| 27 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 15,65 | 13,70 | 0,05 |

У результаті обробки експериментальних даних, аналогічною схемі до першого етапу, отримана модель

$$P = 15,70 + 0,29X_1 + 1,12X_2 + 0,94X_3 - 0,21X_1^2 + 0,19X_2^2 - 0,18X_1X_2 + 0,14X_1X_3 + 0,13X_2X_3$$

Це рівняння, подібно як і для першого випадку, необхідно перевірити

насходження. Для нього обираємо критерій Фішера.

$$F_{\text{екс}} < F \quad F = 1,82$$

$$\text{Критерій виконується і } F_{\text{екс}} = 1,317885338$$

Кута γ_1 є найвпливовішим. Це пояснюється тим, що саме на першу напрямну подається найбільший потік гранул добрив.

Таблиця 4.8

Розрахункові дані критерію Фішера другого етапу досліджень

| № досліду | Нерівномірність внесення, % | | | $F_{\text{екс}} = X_{\text{теор}} / X^2_{\text{факт}}$ | № досліду | Нерівномірність внесення, % | | |
|-----------|-----------------------------|-----------------|---------------------|--|-----------|-----------------------------|-----------------|---------------------|
| | $P_{\text{факт}}$ | $P_{\text{ср}}$ | $X^2_{\text{факт}}$ | | | $P_{\text{розрах}}$ | $P_{\text{ср}}$ | $X^2_{\text{теор}}$ |
| 1 | 17,0300 | 15,1811 | 0,0047 | 0,9952 | 1 | 17,54 | 15,6867 | 0,0047 |
| 2 | 17,8600 | 15,1811 | 0,0098 | 17,3451 | 2 | 16,33 | 15,6868 | 0,0006 |
| 3 | 16,0000 | 15,1811 | 0,0009 | 2,0876 | 3 | 15,12 | 15,6868 | 0,0004 |
| 4 | 16,0300 | 15,1811 | 0,0010 | 2,0477 | 4 | 16,28 | 15,6868 | 0,0005 |
| 5 | 15,8600 | 15,1811 | 0,0006 | 1,9451 | 5 | 15,2 | 15,6868 | 0,0003 |
| 6 | 13,8900 | 15,1811 | 0,0023 | 0,6791 | 6 | 14,12 | 15,6868 | 0,0034 |
| 7 | 15,7500 | 15,1811 | 0,0004 | 3,9354 | 7 | 15,4 | 15,6868 | 0,0001 |
| 8 | 14,9600 | 15,1811 | 0,0001 | 0,0320 | 8 | 14,45 | 15,6868 | 0,0021 |
| 9 | 14,8800 | 15,1811 | 0,0001 | 0,0190 | 9 | 13,5 | 15,6868 | 0,0066 |
| 10 | 18,3100 | 15,1811 | 0,0134 | 1,7093 | 10 | 18,08 | 15,6868 | 0,0079 |
| 11 | 17,2900 | 15,1811 | 0,0061 | 2,5400 | 11 | 17,01 | 15,6868 | 0,0024 |
| 12 | 15,0100 | 15,1811 | 0,0000 | 0,4566 | 12 | 15,94 | 15,6868 | 0,0001 |
| 13 | 15,9900 | 15,1811 | 0,0009 | 0,7201 | 13 | 16,64 | 15,6868 | 0,0012 |
| 14 | 14,1600 | 15,1811 | 0,0014 | 0,3665 | 14 | 14 | 15,6868 | 0,0039 |
| 15 | 14,1500 | 15,1811 | 0,0015 | 1,2378 | 15 | 14,76 | 15,6868 | 0,0012 |
| 16 | 15,0100 | 15,1811 | 0,0000 | 2,5683 | 16 | 15,58 | 15,6868 | 0,0000 |
| 17 | 15,0900 | 15,1811 | 0,0000 | 0,0099 | 17 | 14,77 | 15,6868 | 0,0012 |
| 18 | 14,2100 | 15,1811 | 0,0013 | 0,3163 | 18 | 13,96 | 15,6868 | 0,0041 |
| 19 | 18,6300 | 15,1811 | 0,0163 | 1,8832 | 19 | 18,2 | 15,6868 | 0,0087 |
| 20 | 17,5100 | 15,1811 | 0,0074 | 2,1638 | 20 | 17,27 | 15,6868 | 0,0034 |
| 21 | 15,9600 | 15,1811 | 0,0008 | 1,4217 | 21 | 16,34 | 15,6868 | 0,0006 |
| 22 | 15,9900 | 15,1811 | 0,0009 | 0,8201 | 22 | 16,58 | 15,6868 | 0,0011 |
| 23 | 16,8800 | 15,1811 | 0,0040 | 332,062 | 23 | 15,78 | 15,6868 | 0,0000 |
| 24 | 15,1100 | 15,1811 | 0,0000 | 0,0101 | 24 | 14,98 | 15,6868 | 0,0007 |
| 25 | 15,5400 | 15,1811 | 0,0002 | 1,0771 | 25 | 15,34 | 15,6868 | 0,0002 |
| 26 | 15,0000 | 15,1811 | 0,0000 | 0,0317 | 26 | 14,67 | 15,6868 | 0,0014 |
| 27 | 15,6500 | 15,1811 | 0,0003 | 1256,09 | 27 | 15,7 | 15,6868 | 0,0000 |

Дослідимо поведінку отриманої залежності за відсутності впливу одного

із факторів

НУБІП УКРАЇНИ

$$P = 15,70 + 1,12X_2 + 0,94X_3 + 0,19X_2^2 + 0,13X_2X_3, \quad P_{(MIN)} = 13,96/$$

$$P_{(MAX)} = 18,08/$$

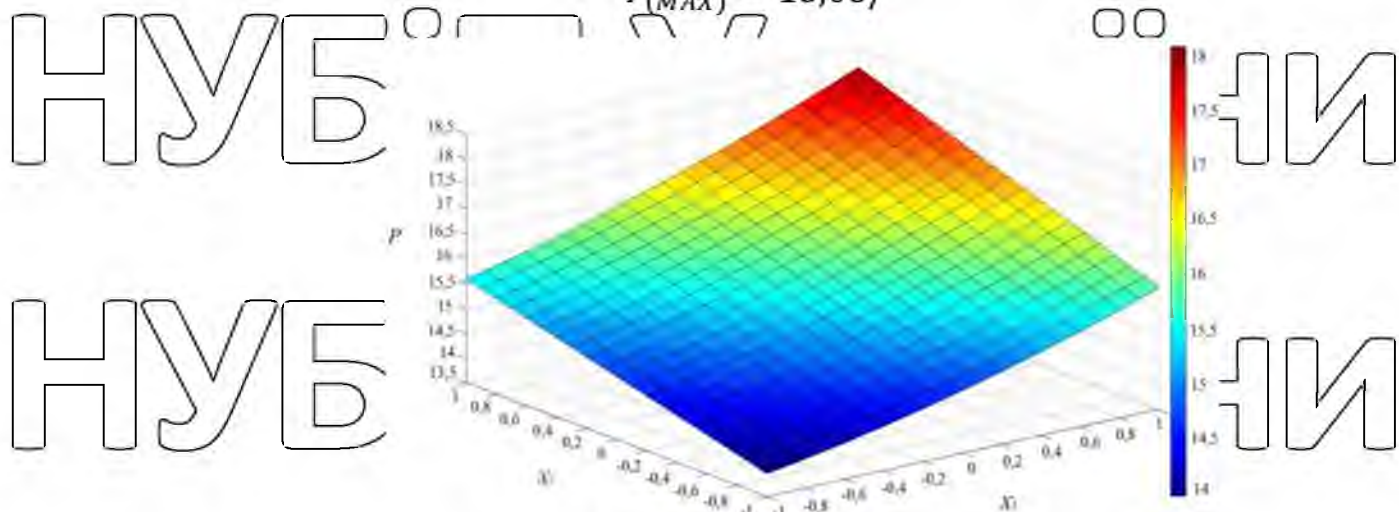


Рис.4.5. Поверхня відгуку при $X_1 = 0/$

НУБІП УКРАЇНИ

$$P = 15,70 - 0,29X_1 + 0,94X_3 - 0,21X_1^2 + 0,14X_1X_3,$$

$$P_{(MIN)} = 14,2$$

$$P_{(MAX)} = 16,8$$

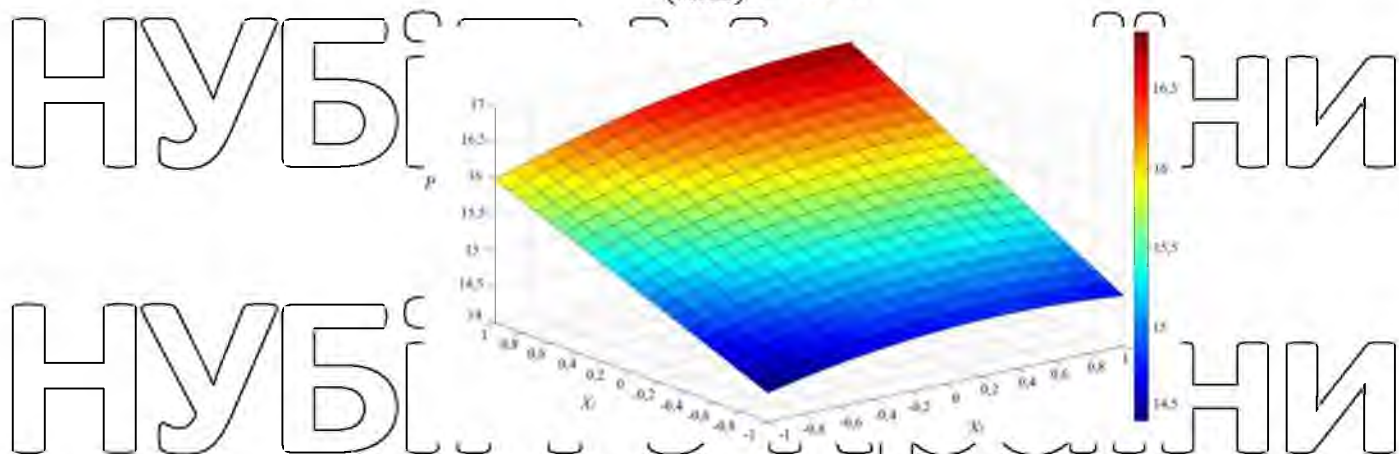


Рис.4.6. Поверхня відгуку при $X_2 = 0/$

$$X_3 = 0$$

НУБІП УКРАЇНИ

$$P = 15,70 - 0,29X_1 + 1,12X_2 - 0,21X_1^2 + 0,19X_2^2 - 0,18X_1X_2,$$

$$P_{(MIN)} = 14,45$$

$$P_{(MAX)} = 17,27$$

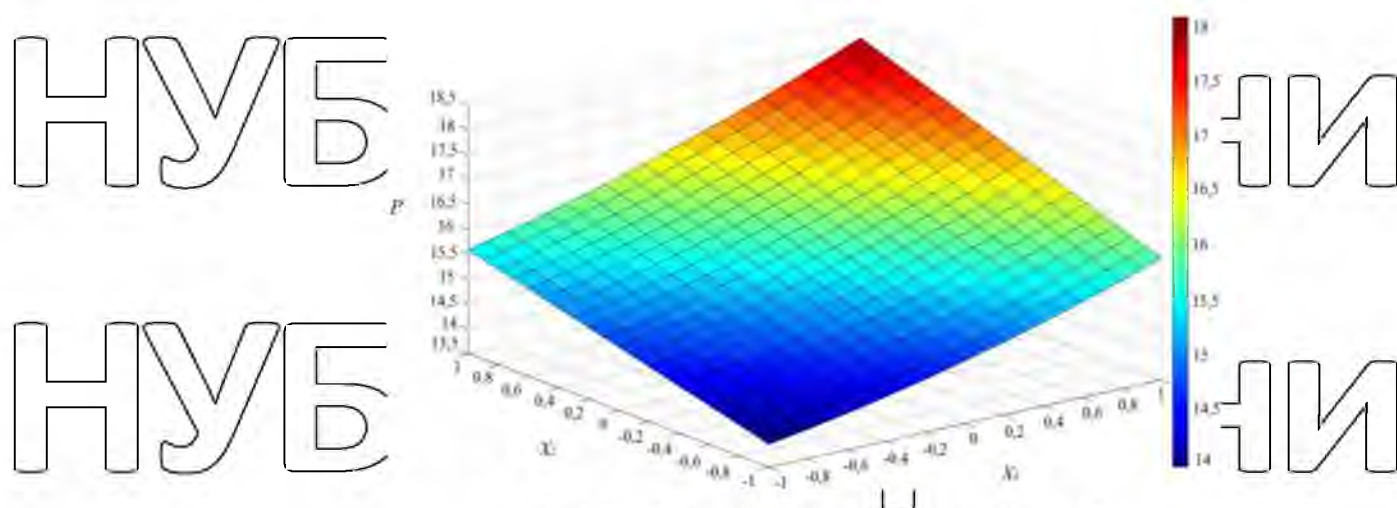


Рис.4.7. Поверхня відгуку при $X_3 = 0$

Аналіз рівняння регресії показує, що абсолютний мінімум відповідає значенням $X_1 = X_2 = X_3 = 0$, а не адекватно даним. $\gamma_1 = 90^\circ$; $\gamma_2 = 90^\circ$; $\gamma_3 = 90^\circ$.

4.2.3. Вплив потоку повітряного на розподіл гранул.

Дослідження виконані відповідно до п. 3.3.2, обробка результатів - до п.3.3.3. Отримані результати представлені у вигляді графіків. Дослідження проводились на швидкостях потоку повітряного до 2,0 м/с. На більших швидкостях нерівномірність різко зростає і виходить за межі агротехнічної допустимості.

Аналіз наведених графіків свідчить про те, що повітряний потік негативно впливає на рівномірність. Напрямок дії спостерігається при напрямку потоку теж є значимим фактором. Так, найменша дія вітру перпендикулярному до руху агрегату, у основному за рахунок зменшення отриманих доз крайніми лотками. Найбільша дія - під кутами 45° та 135° .

4.3. Результати польових випробувань

Польові випробування проводили на полях господарств ДП ДГ «Садивонівське» Блоцерківського району Київської області. У випробуваннях використовували машини МВД-900, МВУ-0,5 та Gagner-500, із використанням як дослідних, так і серійних дисків. Окремо, для порівняння, була задіяна

машина ROTAFLOW RS-M (Голландія).

Характеристика умов випробувань:

➤ загальна площа ділянки 1 га;

➤ рельєф поля рівний;

➤ мікрорельєф відсутній;

➤ нахил місцевості у межах 2%;

➤ тип добрива - суперфосфат із параметрами, наведеними у розділі 4.1;

➤ наявність вітру - до 2 м/с у зустрічному напрямку по відношенню до

МТА. Результати представлені нами у вигляді графіків (рис. 4.8).

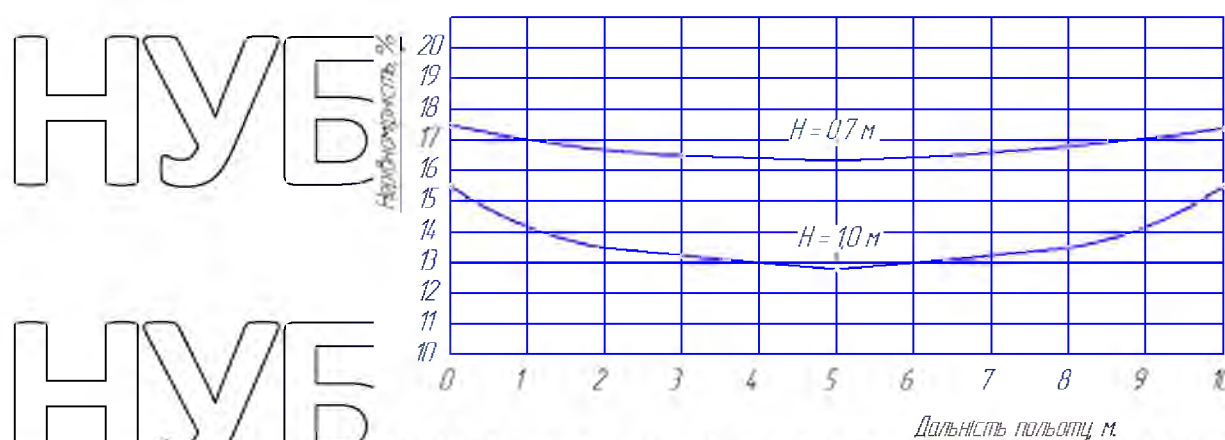


Рис. 4.8. Нерівномірність розподілу гранул із застосуванням машини

МВД-900 залежно від висоти розташування експериментального диска над

рівнем ґрунту.



Рис. 4.9. Робота машини МВД-900 із розробленим відцентровим робочим органом

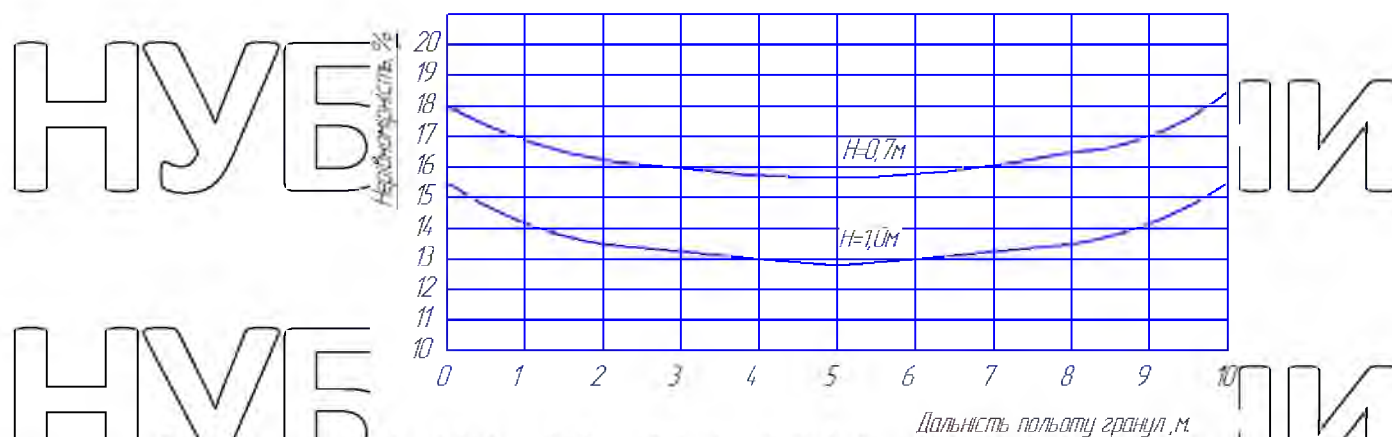


Рис. 4.10. Нерівномірність розподілу гранул із застосуванням машини

МВУ-0,5 і використанням розробленого робочого органа залежно від висоти

розташування експериментального диска над рівнем ґрунту.

Аналіз отриманих залежностей підтверджує, що нерівномірність розподілу гранул у цілому задовільна. Характерним є те, що зі збільшенням

висоти встановлення диска над рівнем ґрунту нерівномірність внесення добрив

зменшується. Такий тривалим польотом частки і, як наслідок, більш тривалим

розподіленням потоку (рис. 4.8. і 4.10.) Детально розглянувши графіки,

переконуємося, що менша спостерігається у однодискових машинах МВУ-0,5

та Garmet-500. Це пояснюється конструктивними особливостями агрегатів.

Добрива потрапляють на оброблювану площу однобічно, що більш виражено у серійних дисках.



Рис. 4.11. Навішування розробленого відцентрового робочого органа на машину МВУ-0,5.

Результати розподілу гранул у порівняльному аспекті модернізованою машиною та представлені на рис. 4.12. Експеримент зі серійною машиною ROTAFLOW RS-M показано на рис. 4.13

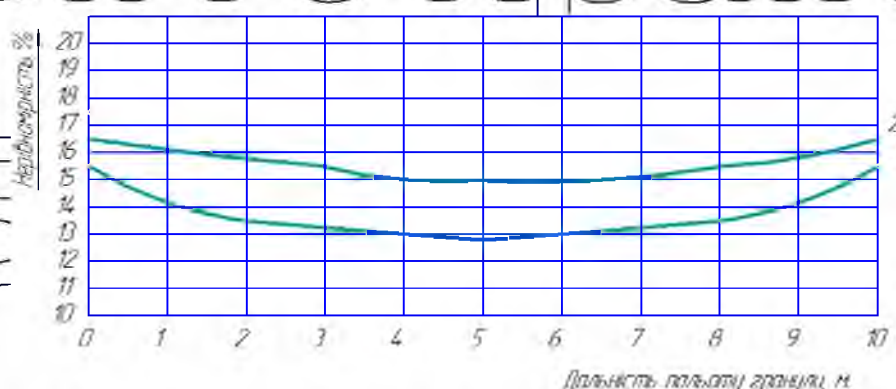


Рис. 4.12. Нерівномірність розподілу гранул для машини MBY-0.5 із модернізованим робочим органом (1) та ROTAFLOW RS-M (2).

Машина зі серійними дисками показує нерівномірність на рівні 23-27%, що суттєво перевищує показник як модернізованої машини, так і ROTAFLOW RS-M. Нерівномірність розкидання менше за імпортовану у середньому на 7-10%. Однак, цей показник у ROTAFLOW RS-M більш стабільний за значенням по ширині захвату.

Як показано у огляді наукових літературних джерел (розділ 1), нерівномірність у межах агротехнічних вимог не впливає на врожайність культури і може вважатися задовільною. Проте показник серійної машини до 27% не відповідає викладеним вимогам.



Рис. 4.13. Проведення експерименту зі серійною машиною ROTAFLOW RS-M.

Полеві дослідження машини Garmet-500 були проведені при русі, відхиленому від поступального, із розробленим робочим органом (рис. 4.14.) Результат - нерівномірність внесення добрив збільшується на 5-8% від загальної за умов нестійкого руху.



Рис. 4.14. Полеві дослідження машини Garmet-500 при русі, відхиленому від поступального, із розробленим робочим органом.

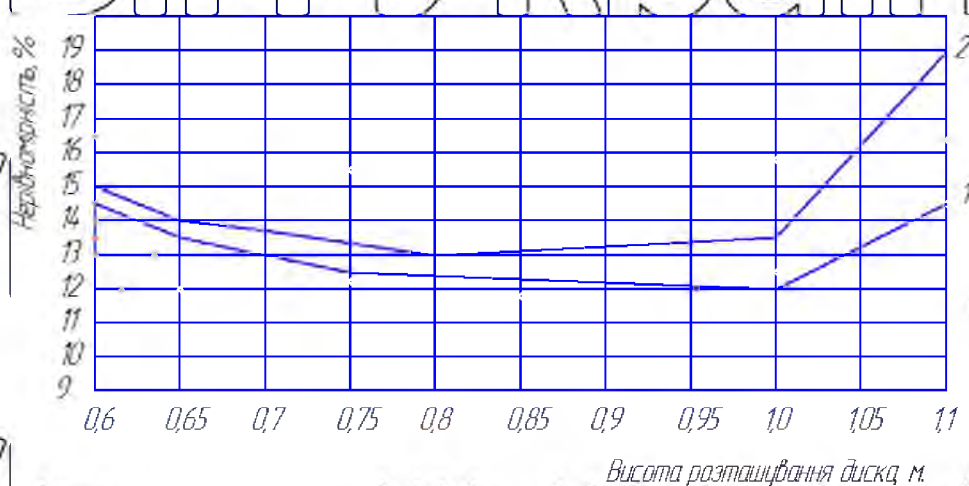


Рис. 4.15. Нерівномірність розподілу гранул для машини Garmet-500 із модернізованим робочим органом: за стійкого руху (1) та відхиленого від поступального (2).

Проаналізувавши отримані залежності (рис. 4.15.), бачимо, що на якість внесення добрив впливає висота розташування диска над поверхнею. Це стосується як руху поступального, із розробленим робочим органом, так стійкого руху модернізованої машини. Так, рівномірність внесення добрив різко погіршується на 5,5-6% при висоті 1,1 м. Отже, оптимальним параметром висоти постановки диска над рівнем ґрунту слід вважати 1,0 м.

4.4. Порівняння результатів, отриманих аналітичним і дослідним

НУБІП України

Для підтвердження адекватності отриманих математичних моделей виконано розрахунки для умов, що відповідають польовим дослідженням:

- напрямок вітру, градус;
- частота обертів багатопотокового відцентрового розкидача, об/хв;
- висота розташування робочого органа над рівнем ґрунту, м;
- кут нахилу лопаток відносно площі обертів диска, градус.

НУБІП України

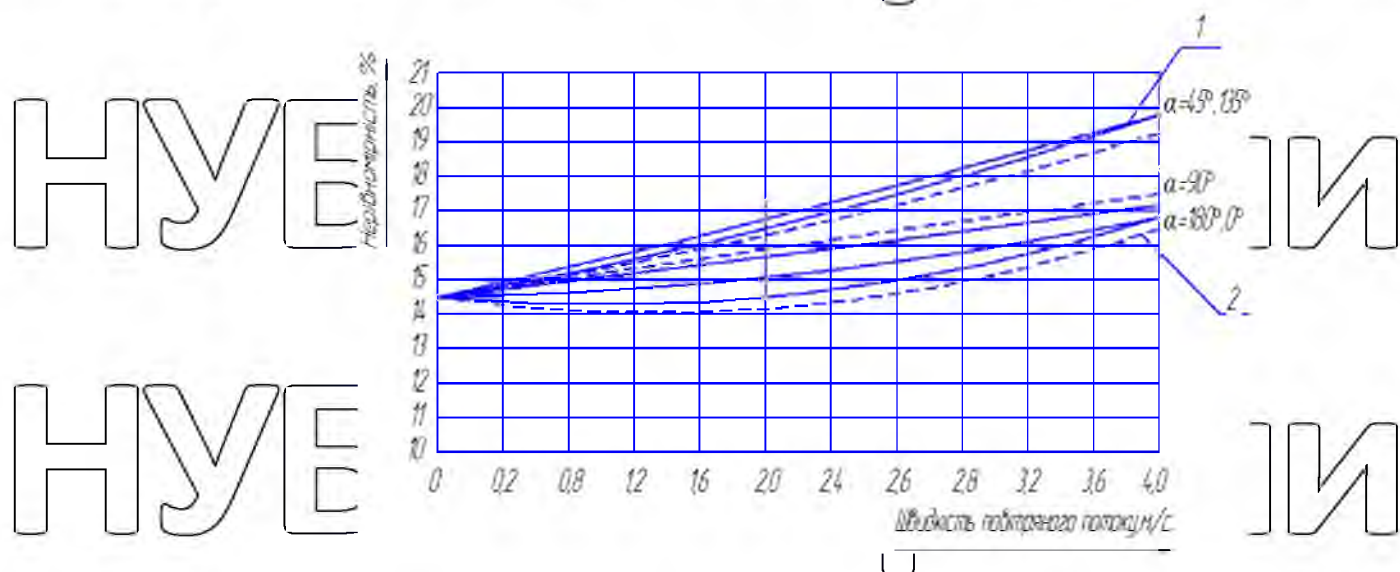


Рис. 4.16. Вплив швидкості потоку повітряного на нерівномірність

НУБІП України

розподілу:
1 - теоретичні дослідження; 2 - експериментальні.

Повітряний потік, спрямований під різними кутами до напрямку руку машинно-тракторного агрегату, має різницю у результатах теоретичних і практичних досліджень 3% (рис. 4.16.).

НУБІП України

Теоретично між частотою обертів відцентрового робочого органа і експериментальними даними відхилення склали менше 2,3% (рис. 4.17.).

НУБІП України

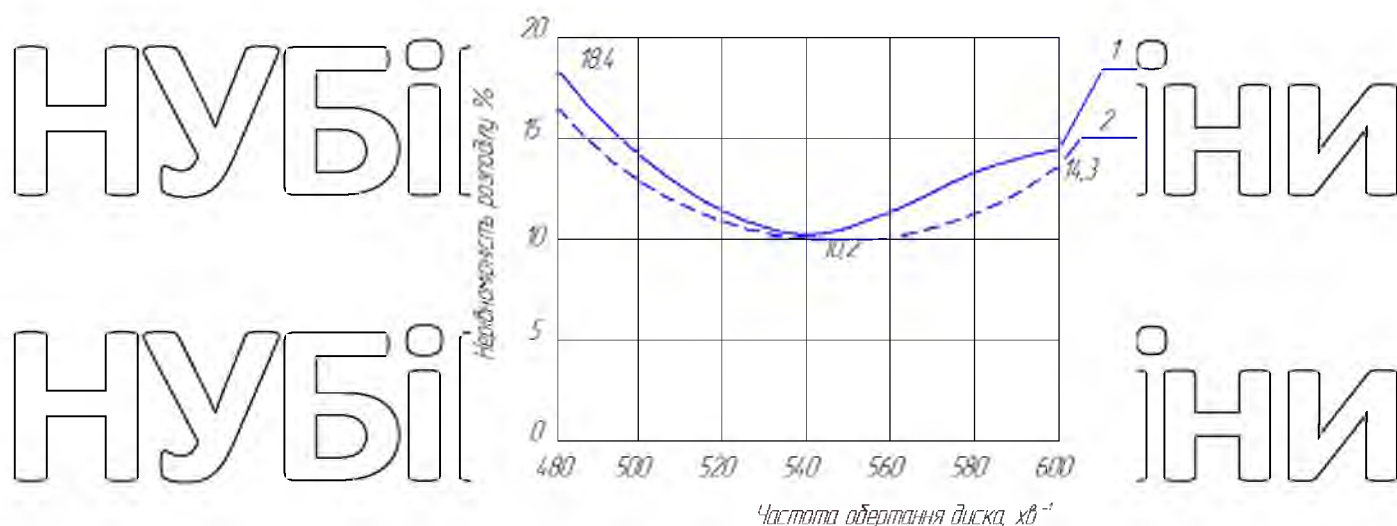


Рис. 4.17. Залежність нерівномірності розподілу добрив від частоти

обертів диска за оптимальних значень конструктивних параметрів:

1 - теоретичні дослідження; 2 - експериментальні.

Заміряна швидкість вітру не перевищувала 1 м/с. Діаметр диска був прийнятий стандартним і становив 0,6 м, що дозволяє використовувати багатопотоковий відцентровий робочий орган на серійних машинах.

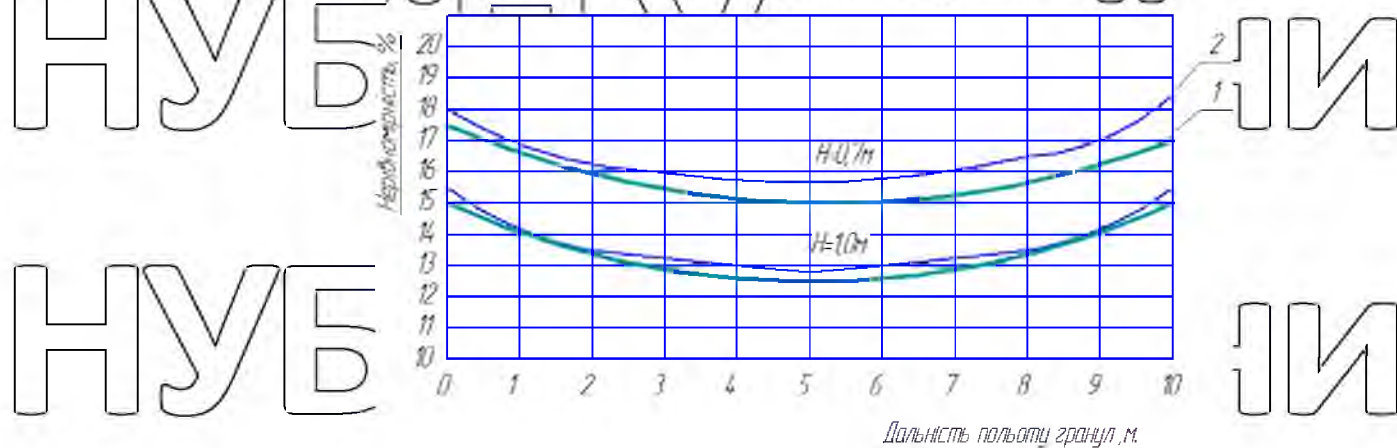


Рис. 4.18. Розподіл гранул із застосуванням багатопотокового

відцентрового робочого органу залежно від висоти розташування

експериментального диска над рівнем ґрунту

1 - теоретичні дослідження; 2 - експериментальні.

Аналіз результатів визначення впливу розташування багатопотокового відцентрового робочого органу над рівнем ґрунту показав (рис. 4.18.), що нерівномірність розподілу гранул досягає найменшого значення при висоті 1 м, тобто вона за експериментальними дослідженнями на 2,8% більше від теоретичних.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Економічна ефективність вирощування сільськогосподарської продукції залежить від двох основних чинників - її собівартості та доходу від реалізації продукції, безпосередньо пов'язаної із урожайністю.

На величину врожаю сільськогосподарських культур впливають безліч різних чинників, основними із яких є добрива.

Розрахунок економічної ефективності сільськогосподарської техніки проводиться на основі порівняльної оцінки різних конструкцій, котрі здійснюють однотипні операції, мають подібну схему агрегування із енергетичним засобом і несуттєво відрізняються за продуктивністю, енерговитратами та іншими техніко-економічними показниками.

Удосконалення робочого органу розкидача відцентрового типу дозволяє збільшити швидкість агрегату, зменшити витрату технологічного матеріалу та зменшити екологічне навантаження на навколишнє середовище. Як показує досвід 10 км/год мікрорельєфу, рослинних решток. Робоча швидкість вдосконаленої до 12 км/год без зниження якісних показників процесу внесення добрив, проте ми будемо рухатися зі швидкістю 10,5-11 км/год для забезпечення найнижчого стабільного значення нерівномірності внесення добрив. Саме виконання агротехнічних умов внесення мінеральних добрив буде визначальним параметром швидкості машинно-тракторного агрегату.

Проведемо розрахунок основних техніко-економічних показників, аналіз яких дозволить зробити висновки про доцільність і економічну ефективність від запровадження удосконалення.

Розрахунок галузевої собівартості та оптової ціни машини для внесення мінеральних добрив проводили за типовими методиками [28].

Коефіцієнт конструктивної складності нової машини у порівнянні із аналогічними машинами приймаємо $\lambda = 1,1$ [28].

Вихідні дані для визначення основних техніко-економічних показників наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

| Вихідні дані для визначення Найменування | Умовне | | Машина | |
|--|------------|-------------|------------|------------|
| | позначення | вимірювання | Базова | Експерим. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. Агрегатується із трактором | - | | ЮМЗ-8040.2 | ЮМЗ-8040.2 |
| 2. Наробіток за годину основного експлуатаційного часу | W_T | га/год | 12,2 | 15,96 |
| 3. Кількість обслуговуючого персоналу - тракторист | L_m | чол. | 1 | 1 |
| 4. Розряд робітника - тракторист | - | - | 5 | 5 |
| 5. Змінна норма виробітку | $W_{зм}$ | га | 85,4 | 111,2 |
| 6. Тарифна ставка на одиницю наробітку - тракторист | t_m | грн/га | 11,8 | 11,18 |
| 7. Кількість годин роботи | t_M | год. | 7 | 7 |
| 8. Сезонне навантаження - трактора | T_m | год | 1100 | 1100 |
| - розкидача | T_M | | 140 | 140 |
| 9. Термін служби - трактора | t_m | років | 8 | 8 |
| - розкидача | t_M | | 7 | 7 |
| 10. Витрати палива | q | кг/га | 0,7 | 0,5 |
| 11. Вартість палива | C_m | грн/кг | 9,98 | 9,98 |

| | | | | |
|--|------------------------------|-----|----------------|----------------|
| 12. Балансова ціна трактора розкидача | C_{6m} C_{66}, C_{6H} | грн | 166992 7800 | 166992 8520 |
| 13. Відрахування на амортизацію трактора розкидача | a_m a_M | % | 12,5 14,3 | 12,5 14,3 |
| 14. Відрахування на ремонт - трактора розкидача | R_m R_M | % | 13,7 14,2 | 13,7 14,2 |
| 15. Ціна 1 тони мінеральних добрив у середньому | C_c | грн | 4000 | 4000 |

Галузева собівартість нового зняття визначається за формулою:

$$C_r = \lambda \cdot \frac{100 \cdot M_0}{g \cdot k_y} + d, \quad (5.1.)$$

де C_r - галузева собівартість, грн.;

M_0 - загальна вартість сировини і матеріалів, що входять до складу

розкидача;

λ - коефіцієнт конструкторської складності нової машини у порівнянні із аналогічними за технологією серійними машинами;

g - питома вага витрат на матеріали у собівартості машини без

купувальних виробів даної групи %;

k_y - коефіцієнт зміни питомої ваги матеріалів залежно від масштабів виробництва, $k_y = 0,659$;

d - вартість купованих вузлів і деталей у оптових цінах із додаванням

витрат на транспортно-заготовчі витрати, $d = 720$ грн:

$$M_0 = C \cdot (1 + O + T) \cdot C_c \quad (5.2.)$$

де C - чиста маса розкидача без покупних виробів, $C = 0,65$ т;

O - відсоток відходів металу при обробці, $O = 10\%$;

T - відсоток транспортно-заготовчих витрат, $T = 7\%$;

C - вартість однієї тони прокату металу, $C = 7000$ грн.

$$M_o = 0,65 \cdot (1 + 0,1 + 0,07) \cdot 7000 = 5324 \text{ грн.}$$

$$C_r = 1,1 \cdot \frac{100 \cdot 5324}{36 \cdot 0,659} + 720 = 25405 \text{ грн.}$$

Відпускна (оптова) ціна машини:

$$C_{o.c.} = C_r + \Pi_H, \quad (5.3.)$$

де Π_H - нормативний прибуток, грн.

$$\Pi_H = \frac{P_c \cdot C_r}{100}, \quad (5.4.)$$

де P_c - диференційний галузевий норматив рентабельності (встановлений для галузі 20%);

$$\Pi_H = \frac{20 \cdot 25405}{100} = 5081 \text{ грн.}$$

$$C_{o.c.} = 25405 + 5081 = 30486 \text{ грн.}$$

Балансова вартість машини

$$C_{б.н.} = 1,1 \cdot C_o = 1,1 \cdot 17800 = 19580 \text{ грн.} \quad (5.5.)$$

Амортизаційні відрахування по трактору із новою та базовою машиною

$$A_H = \frac{C_{б.т.} \cdot a_m}{W_r \cdot T_m \cdot 100} + \frac{C_{б.б.} \cdot a_m}{W_r \cdot T_m \cdot 100} = \frac{166992 \cdot 12,5}{15,96 \cdot 1100 \cdot 100} + \frac{19580 \cdot 12,5}{15,96 \cdot 140 \cdot 100} = 2,27 \text{ грн./га;}$$

$$A_б = \frac{C_{б.т.} \cdot a_m}{W_r \cdot T_m \cdot 100} + \frac{C_{б.б.} \cdot a_m}{W_r \cdot T_m \cdot 100} = \frac{166992 \cdot 12,5}{12,2 \cdot 1100 \cdot 100} + \frac{17800 \cdot 12,5}{12,2 \cdot 140 \cdot 100} = 2,8 \text{ грн./га;}$$

Витрати на ремонт та технічне обслуговування по трактору із новою та базовою машиною

$$P_H = \frac{C_{б.т.} \cdot R_m}{W_r \cdot T_m \cdot 100} + \frac{C_{б.б.} \cdot a_m}{W_r \cdot T_m \cdot 100} = \frac{166992 \cdot 13,7}{15,96 \cdot 1100 \cdot 100} + \frac{19580 \cdot 10}{15,96 \cdot 140 \cdot 100} = 2,1 \text{ грн./га;}$$

$$P_б = \frac{C_{б.т.} \cdot R_m}{W_r \cdot T_m \cdot 100} + \frac{C_{б.б.} \cdot a_m}{W_r \cdot T_m \cdot 100} = \frac{166992 \cdot 13,7}{12,2 \cdot 1100 \cdot 100} + \frac{17800 \cdot 10}{12,2 \cdot 140 \cdot 100} = 3,1 \text{ грн./га;}$$

Заробітна плата робочих на одиницю виробітку

$$Z_H = \frac{(L_H \cdot \tau_m \cdot k_{д.т.} \cdot k_H) + (L_H \cdot \tau_m \cdot k_{д.с.} \cdot k_H)}{W_r} \quad (5.6.)$$

де k_H - коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату, $k_H =$

1,367

k_d - коефіцієнт, що враховує різні доплати, $k_{д.т.} = 1,4$; $k_{д.с.} = 1,2$.

$$З_n = \frac{(1 \cdot 11,18 \cdot 1,4 \cdot 1,367) + (8 \cdot 7,39 \cdot 1,2 \cdot 1,367)}{15,96} = 2,1 \text{ грн./га}$$

$$З_6 = \frac{(1 \cdot 11,18 \cdot 1,4 \cdot 1,367) + (12 \cdot 7,39 \cdot 1,4 \cdot 1,367)}{12,2} = 2,9 \text{ грн./га}$$

Витрати на паливно-мастильні матеріали

$$\Gamma = q \cdot Ц_n \cdot k_n \quad (5.7)$$

де k_n - коефіцієнт, що враховує вартість мастильних матеріалів, $k_n = 1,1$.

Прямі експлуатаційні витрати

$$И = А + Р + З + \Gamma \quad (5.8)$$

$$И_n = 2,27 + 2,1 + 2,1 + 5,48 = 11,95 \text{ грн./га,}$$

$$И_6 = 2,8 + 3,1 + 2,9 + 7,68 = 16,48 \text{ грн./га,}$$

Витомі капіталовкладення

$$П_{кн} = \frac{Ц_{6m}}{W_r \cdot T_m} + \frac{Ц_{6н}}{W_r \cdot T_m} = \frac{166992}{15,96 \cdot 1100} + \frac{19580}{15,96 \cdot 140} = 18,27 \text{ грн./га,}$$

$$П_{кб} = \frac{Ц_{6m}}{W_r \cdot T_m} + \frac{Ц_{6б}}{W_r \cdot T_m} = \frac{166992}{12,2 \cdot 1100} + \frac{17800}{12,2 \cdot 140} = 22,84 \text{ грн./га,}$$

Приведені витрати

$$J = И + E_{нор} \cdot П_k \quad (6.9)$$

де $E_{нор}$ - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, $E_{нор} =$

0,15.

$$J_n = 11,95 + 0,15 \cdot 18,27 = 14,7 \text{ грн./га,}$$

$$J_6 = 16,48 + 0,15 \cdot 22,84 = 19,9 \text{ грн./га,}$$

Сезонне завантаження розкидача:

$$T_m = \frac{O_p}{W_r \cdot K_p}, \quad (5.10)$$

де W_r - продуктивність за годину роботи, $W_{гн} = 15,56 \text{ га/год}$, $W_{г6} = 12,2 \text{ га/год}$,

O_p - річний обсяг виконуваних робіт, $O_p = 600 \text{ га}$,

K_p - коефіцієнт використання робочого часу, $K_p = 0,94$.

$$T_{мн} = \frac{600}{15,56 \cdot 0,94} = 41 \text{ год;}$$

$$T_{м6} = \frac{600}{12,2 \cdot 0,94} = 52,3 \text{ год.}$$

Витрати праці на операцію внесення мінеральних добрив:

$$B_{nh} = \frac{L_m + L_{mh}}{W_r} = \frac{1+1}{15,56} = 0,12 \text{ люд.год./га} \quad (5.11.)$$

$$B_{nb} = \frac{L_m + L_{mb}}{W_r} = \frac{1+1}{12,2} = 0,16 \text{ люд.год./га} \quad (5.12.)$$

Економія витрат праці:

$$E_n = (B_{nb} - B_{nh}) \cdot O_p \quad (5.13.)$$

$$E_n = (0,16 - 0,12) \cdot 600 = 24 \text{ люд.-год.}$$

Ступінь зниження питомих витрат праці:

$$E_n = \frac{(B_{nb} - B_{nh})}{B_{nb}} \cdot 100 = \frac{0,16 - 0,12}{0,16} \cdot 100 = 25\% \quad (5.14.)$$

Річний прибуток (економія) від експлуатації нової машини:

$$P_e = (I_b - I_n) \cdot O_p = (16,48 - 11,95) \cdot 600 = 2718 \text{ грн.} \quad (5.15.)$$

Розмір капітальних вкладень, приймаємо на рівні галузевої собівартості.

Тоді, термін окупності додаткових інвестиційних вкладень визначиться

$$T_{ок} = \frac{(C_1 - C_{66})}{P_e} = \frac{19580 - 17800}{2718} = 0,6 \text{ року} \quad (5.16.)$$

Таблиця 5.2.

Основні техніко-економічні показники машини для внесення органо-

мінеральних добрив

| № п/п | Показники | Розмірність | Значення | |
|----------|-----------------------------|-------------|----------|------------------|
| | | | Базова | Експериментальна |
| 1 | Балансова вартість машини | грн | 17800 | 19580 |
| 2 | Річне завантаження машини | год | 52,3 | 41 |
| 3 | Витрати на зарплату робочих | грн/га | 2,9 | 2,1 |
| 4 | Витрати на ПММ | грн/га | 7,68 | 5,48 |
| 5 | Амортизаційні відрахування | грн/га | 2,1 | 1,7 |
| 6 | Відрахування на ремонт і ТО | грн/га | 2,4 | 1,8 |
| 7 | Експлуатаційні витрати | грн/га | 16,48 | 11,95 |

| | | | | |
|----|-------------------------------|-----------|-------|-------|
| 8 | Питомі капіталовкладення | грн/га | 22,84 | 18,27 |
| 9 | Приведені витрати | грн/га | 19,9 | 14,7 |
| 10 | Витрати праці | люд.-год. | 0,16 | 0,12 |
| 11 | Економія витрат праці | люд.-год. | - | 24 |
| 12 | Ступінь зниження витрат праці | % | - | 25 |
| 13 | Річна економія коштів | грн | - | 2718 |
| 14 | Термін окупності | років | - | 0,6 |

Впровадження розкидача, який пропонується, дозволяє підвищити продуктивність агрегату та оптимізувати норми внесення добрив. Удосконалений розкидач добрив економічно доцільніший при терміні окупності додаткових капітальних вкладень 0,6 року використання машини. Річний економічний ефект від запровадження становить 2718 грн.

Економічний ефект отримується за рахунок зменшення витрати пального при роботі на робочим органом. Продуктивність роботи машинно-тракторного агрегату за зміну буде зростати. Це забезпечуватиметься передусім за рахунок збільшення коефіцієнта використання робочого часу зміни.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВИСНОВКИ

НУБІП України
 Результати теоретичних і експериментальних досліджень дозволяють зробити наступні висновки.

Було прийнято та обгрунтовано схему удосконалення. Виведено та підраховано рівняння руху матеріальної частки при сході із диску. Це рівняння дає можливість прогнозувати розташування частинок по поверхні поля.

1. Вивчили основні фізико-механічні властивості органо-мінеральних добрив, котрі впливають на дальність польоту і рівномірність їх розподілу по поверхні поля. Так, оптимальні параметри гранул мінеральних добрив повинні бути у перевищувати 5 мм, оскільки на 55% зменшуватиметься рівномірність внесення робочої суміші. Вологість гранул органо-мінеральних добрив повинна бути у межах 2-6%.

2. Дослідили процес і встановили якісні показники розсівання органо-мінеральних добрив відцентровим робочим органом. Так, прогнозована розрахункова нерівномірність внесення добрив - 10,02% для наведених конструктивних та кінематичних показників за прийнятого у роботі гранулометричного складу добрив.

3. Обгрунтували раціональні параметри робочого органу розкидача добрив. Розраховані основні характеристики розкидача, здатного забезпечити внесення добрив при швидкості руху вітру до $V = 3$ м/с на ділянці, шириною 18 м:

- діапазон діаметра диска - 600-650 мм;
- діапазон частоти обертів диска - 520-560 об/хв;
- висота встановлення диска над рівнем ґрунту - 0,7-1,0 м;
- кількість лопатей (секторів) - 4;
- кількість напрямних ребер на лопаті (секторі) - 3;
- кількість дисків - 2 (нижній та верхній із різними діаметрами);
- кути нахилу напрямних для трьох потоків до площини обертів диска:
 $\alpha_1 - 13^\circ$, $\alpha_2 - 8^\circ$, $\alpha_3 - 0^\circ$;

кути нахилу ребер до площини обертів дисків - 90° ;
 відстань між верхнім та нижнім диском - 60-65 мм;
 діаметр нижнього диска - 110-140 мм;

висота лопатей, котрі закріплені на нижньому диску - 40-45 мм;

висота живильника - 60 мм;

діаметр живильника біля основи - 240 мм, на вершині - 196 мм

4. Встановили на основі порівняльних досліджень агротехнічні і техніко-економічні показники експериментального і серійного розсіювальних

робочих органів розкидача добрив. Згідно запропонованої методики, було

проведено стендові відцентрового типу. Запропоновано удосконалений

робочий орган, який забезпечить коефіцієнт варіації внесення робочої суміші

17% - польові досліди. Згідно стендових досліджень - 10%. Отже основні

агротехнічні вимоги по якості внесення добрив виконані.

5. Розробили рекомендації по застосуванню відцентрового розкидача на серійних машинах для внесення органо-мінеральних добрив.

6. Впровадження розкидача, який пропонується, дозволяє підвищити продуктивність агрегату та оптимізувати норми внесення добрив.

Удосконалений розкидач добрив економічно доцільніший при терміні

окупності додаткових капітальних вкладень 0,6 року використання машини.

Річний економічний ефект від запровадження становить 2718 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аиурьев В.И. Довідник конструктора-машинобудівника: у 3 т. - М.: Машинобудування, 1979, - Т.2 - 559 с.
2. Алферов, С. А. Воздушно-решетные очистки зерноуборочных комбайнов [Текст] // С. А. Алферов. - М.: Агропромиздат, 1987. - 159 с.
3. Астахов, В. С. Пневматические сеялки нового поколения [Текст] / В. С. Астахов // Тракторы и сельхозмашины. - 1998. - № 10. - С. 7-8.
4. Булгаков В.М. Использование прямого метода граничных элементов при исследовании стационарных колебаний пластин / В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, Г.Н. Калетник, А.П. Куценко // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації у техніці та технологіях». - №1(84). - 2017. - С.8-14.
5. Булгаков В.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. / Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н., Калетник Г.М. / Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації у техніці та технологіях». ВІАНУ, 2014 р. - Вип. 1 (73).
6. Булгаков В.М. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. (Під редакцією проф. С.І.Кучеренка). / В.М. Булгаков, В.В. Бурлака, Г.М. Калетник, І.С. Кравченко, С.С. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко, М.Г. Березовий. - Вінниця: Нова книга, 2010. - 667 с.
7. Булгаков В.М. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин / В.В. Адамчук, Г.М. Калетник, В.М. Булгаков, О.М. Черниш // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації у техніці та технологіях» №2 (82) 2016. - С.5-9.
8. Булгаков В.М. Дослідження та розробка методів діагностування гідравлічних приводів зернозбиральних комбайнів / Г.М. Калетник, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, В.В. Яременко // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». - №2(94). - 2016. - С.12-19.
9. Вальяні, Д. Г. Теоретичні основи роботи вакуумних висівних апаратів

[Текст] / Д. Г. Валяні // Удосконалення конструкцій, поліпшення ремонту і експлуатації сільськогосподарської техніки. - Харків, 1972. - Т. 174. - С. 3-10.

10. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та визначення. Підручник / Д.Г. Войтюк, В. М. Барановський, В. М. Булгаков та ін.; за ред. Д. Г. Войтюк. - К.: Вища освіта, 2005. - 464 с.

11. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вища освіта, 2004.

12. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. 2-е вид. - К.: Каравела, 2008. - С. 13-22.

13. Горячкин В.П. Теория разрушения почв. Собр. соч. - М., Колос, 1968. - Т.2. - С. 335-382.

14. Гунько І.В. Енергоощадні безконтактні методи діагностування показників технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки / І.В. Гунько, Л.Г. Коваль // Техніка, енергетика, транспорт АПК. - №3 (95). - Вінниця.

- 2016. - С. 89-93

15. Гусев, В. М. Посевные машины США и Канады [Текст] / В. М. Гусев, В. И. Мишин // Тракторы и сельхозмашины. - 2016. - № 3. - С. 55-57.

16. Дипломне проектування у вищих навчальних закладах Мнагрополітики України. Навчально-методичний посібник / За ред. Т.Д. Іщенко, І.М. Бендери. - К.: Аграрна освіта, 2016. - 256 с.

17. Кукуруза / под. общ. ред. В. А. Щербакова. - Минск: 1998. - 200 с.

18. Лаврухин, П. В. Рух насіння у насіннепровід при пневмотранспортуванні [Текст] / П. В. Лаврухин, П. А. Іванов // Механізація та електрифікація сільського господарства. - 2008. - № 8. - С. 15-16.

19. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник / За ред...В.С.

Павленка / - К.: «Хай-Тек Прес», 2011. - 140 с.

20. Сивак Р.І. Короткий курс теоретичної механіки / Р.І. Сивак, І.А. Деревенько. - Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. - 200 с.

21. Солона О.В. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт / О.В. Солона, І.М. Купчук – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 116 с.

22. Солона О.В. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання курсового проекту / О.В. Солона, І.М. Купчук, В.І. Паламарчук. – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 84 с.

23. Солона О.В. Технічна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт / О.В. Солона, І.М. Купчук – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 84 с.

24. Несмиян А.Ю., Должиков В.В. Обзор культиваторов для сплошной обработки почвы и тенденции их производства. *Тракторы и сельхозмашины*.

2013. № 4. С. 12-16.

25. Ветохин В.И. К вопросу систематизации пассивных рабочих органов для рытления почвы на основе физики процесса *Збірник наукових праць*.

Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. 2008. Вип. 11(25). С. 113–122.

26. Кайванов С. Д., Носов И.А., Кайванов С.Д. и др. Ресурсосберегающий пропашной культиватор. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. № 4. С. 31–37.

27. Кувачов В.П. Потенційні можливості баластування колісного трактора за умовою екофільності шини в залежності від тиску повітря в неї / Кувачов В.П.,

Мітков В.Б., Аюбов А.М., Шулъга О.В. // Науковий вісник ТДАТУ. - Мелітополь, 2016. - Вип. 6., т.3. - С. 26-33.

28. Иитов А. Н. Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин с применением импульсного-электроконтактного нагрева: дис. к.т.н. К., 2005. 162 с.

29. Стройко Т. В., Бабенко М. Д. Виробнича інфраструктура сільськогосподарських підприємств миколаївщини: сучасний стан та перспективи розвитку. 2009. Вип. 1. 51–56 с.

30. Скоцик В. Є. Вітчизняне сільськогосподарське машинобудування: сучасний стан та проблеми його відродження. *Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. Економічні науки*. [зб. наук. пр./ редкол.: Макаренко Н. М. (відп. ред.) та ін.]. Вип. 1(6). Т. 1. С. 248–253.

31. Статистичний щорічник України за 2013 рік За редакцією О.Г. Осауленка.

Відповідальний за випуск О.А. Вишневська. К., 2014. 563 с.

32. Рогов В. А., Соловьев В. В., Копылов В. В. Новые материалы в машиностроении: Учеб. пособие. К.: РУДН, 2008. 324 с.

33. Дудников А. А., Беловод А. И., Пасюта А. Г., Келемеш А. А., Горбенко А. В. Технологические способы повышения долговечности и ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 5(1). С. 4–7.

34. Денисенко М. І., Рубльов В. І. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин з використанням точкового зміцнення. *Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2011. Вип. 24, ч. II.

35. Шатров Р. В. Шляхи енергозбереження в рослинництві. *Збірник тез доповідей III-ї міжнародної наукової конференції*. 2015. С. 16–18.

36. Аулін В. В. Триболофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки: дис. д.т.н. Кіровоград, 2014. 447 с.

37. Василенко М. О. Перспективи застосування локального зміцнення при виготовленні і відновленні робочих органів. *Техніка АПК*. 2008. № 1. С. 29–31.

38. Василенко М. О., Буслаєв Д. О. Результати лабораторно-польових випробувань зміцнених робочих органів культиватора «КВАНТ-12». *Матеріали XXII Міжнародної науково – технічної конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» та IX Всеукраїнської конференції*. Глеваха, 2014. С. 197–198.

39. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Калінін О. Є., Кононогов Ю. А. Аналіз конструкційно-технологічних параметрів полольних лап культиваторів, що експлуатуються на ґрунтах різних типів. *Матеріали XXV Міжнар. наук. - техн. конф. та XVII Всеукр. конф. - семінару аспірантів, докторантів та здобувачів у галузі аграрної інженерії (Глеваха, 29-30 червня 2017 р.)*.

40. Кайванов С.Д., Руденко Н.Е., Завялик Ф.Н. Инновационная стрельчатая почвообрабатывающая лапа. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. № 6. С. 16–19.

41. Кайванов С.Д., Горбачев С.П., Калугин Д.С. и др. Энергосберегающая стрельчатая почвообрабатывающая лапа. *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. № 11. С. 11–13.

42. Горбенко О. В. Шляхи підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробної техніки. *Вісник*. Харків, 2011. Випуск 110. С. 133–136.

43. Бернштейн Д. Б., Кисетова Н. И., Сорокина Е. М., Шеко И. Б. Макрогеометрия и изнашивающая способность почвенных абразивных частиц. *Трение и износ*. 1992. Т. 13. №2. С. 333–339.

44. Кувачов В.П. Визначення показника режиму поворотності ширококолієного агрозасобу для колійної системи землеробства. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2016. Вип. 6., т.3. С. 171 – 177.

45. Лебедев А.Т., Лебедев К.А., Магомедов Р.А. и др. Повышение ресурса культиваторных лап. *Научное обозрение*. 2015. №3. С. 50–57.

46. Надикто В.Т. Методика визначення потужності двигуна с.-г. трактора. *Техніка і технолог в АПК*. 2014. №1. С. 7-9.

47. Надикто В.Т. Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації. *Техніка і технолог в АПК*. 2016. №9. С. 8-11.

48. Кувачов В.П. До питання комплектування спеціалізованих ширококолієних енерготехнологічних транспортних засобів для колійної системи землеробства.

Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. - Кіровоград: КНУУ, 2016. Вип. 46. С. 72-78.

49. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. К.: Урожай, 2004. 448 с.

50. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування: ДСТУ 4397:2005. К., 2015.