

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

НИЧИПОРЧУК АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 631.3.03:631.3.01

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВО-ЛОПАТЕВОГО
ТУКОВИСІВНОГО АПАРАТУ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ А. О. Ничипорчук

Керівник роботи

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Ничипорчук Андрій Олександрович. Оптимізація параметрів дисково-лопатевого туковисівного апарату. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В процесі виконання кваліфікаційної роботи нами було проведено аналіз технологічних процесів внесення твердих мінеральних добрив та засобів реалізації механізованих способів використання. Виконано аналіз конструкційних особливостей дисково-лопатевого робочого органу машин для внесення меліорантів та добрив.

В процесі аналітичного дослідження та визначення параметрів дисково-лопаткового робочого органу встановлено основні показники ефективної їх роботи. Зокрема рівномірності та дальності розподілу туків за шириною захвату, в залежності від конструкційно-технологічних і кінематичних параметрів налаштування, з врахуванням механіко-технологічних властивостей застосованих технологічних матеріалів. Побудовано графічні закономірності їхнього впливу та взаємозв'язків.

Під час виконання теоретично симуляторних досліджень, встановлено та підтверджено значення досліджуваних факторів, які мають найбільшу значимість по впливу на критерії оптимізації дальність та рівномірність внесення твердих гранульованих мінеральних добрив.

Зроблено загальні висновки по роботі та виконанню досліджень. Дані рекомендації по встановленню оптимізованих значень ефективності застосування даного типу машин з відцентровими розкидальними пристроями туків.

Ключові слова: *дисково-відцентровий апарат, лопать, мінеральні добрива, оптимальні показники, процес внесення туків.*

SUMMARY

Andriy Nychporchuk. Optimizing the parameters of the disk-blade fat seeding device. - Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 208 Agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2023.

In the course of the qualification work, we conducted an analysis of the technological processes of applying solid mineral fertilizers and the means of implementing mechanized methods of use. An analysis of the design features of the disc-blade working bodies of machines for applying meliorants and fertilizers was performed.

In the process of analytical research and determination of the parameters of the disc-blade working body, the main indicators of their effective work were established. In particular, the uniformity and range of fat distribution by the grip width, depending on the structural and technological and kinematic setting parameters, taking into account the mechanical and technological properties of the applied technological materials. Graphic patterns of their influence and interrelationships are constructed.

During the implementation of theoretical simulation studies, the value of the investigated factors, which have the greatest significance in terms of influence on the criteria for optimizing the range and uniformity of application of solid granular mineral fertilizers, was established and confirmed.

General conclusions on the work and execution of research were made. These are recommendations for setting optimized values of the efficiency of the application of this type of machines with centrifugal fat spreading devices.

Key words: *disc-centrifugal device, blade, mineral fertilizers, optimal indicators, the process of fat application.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАСОБІВ ВНЕСЕННЯ ТУКІВ	
1.1. Аналіз відомих конструкцій та технологічних процесів внесення добрив.....	7
1.2. Аналіз конструкції закордонних виробників машин для внесення туків..	11
Висновки до розділу 1.....	16
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВО-ДИСКОВОГО РОЗКИДНОГО АПАРАТУ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ	
2.1. Визначення основних параметрів дискового тукорозкидного апарату ..	17
2.2. Теоретичне обґрунтування процесу роботи дисково-відцентрового розкидного апарата.....	18
Висновки до розділу 2.....	21
3. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВО-РОЗКИДНОГО ДИСКА ТУКІВ	
3.1. Опис методики проведення дослідів по визначенню дальності розподілу добрив.....	23
3.2. Результати досліджень дальності розподілу мінеральних гранульованих добрив	26
Висновки до розділу 3.....	28
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31

ВСТУП

Актуальність теми. Дослідженню технологічних процесів по оптимізації параметрів робочих органів відцентрово-розкидного типу було присвячено достатня кількість дослідницьких робіт та публікацій. Але зі зміною технологій застосування та вирощування культур, постійно з'являється потреба змінювати та модернізувати параметри та налаштування засобів механізації. Інколи застосування стандартних підходів до оптимізації процесу недостатньо, тому необхідно проявляти нестандартні рішення та інженерно-дослідницький характер виконання завдань.

Поставивши завдання роботи дослідити параметри роботи відцентрово-лопаткового робочого органу розкидачів добрив, необхідно правильно встановити технічну задачу та шляхи вирішення їх. На наш погляд досить актуальною проблемою сьогодення даних агрегатів є вузькоспеціалізоване застосування розкидних пристроїв машин під певний вид добрив, що вимагає мати в парку машин декілька різних типів машин для внесення туків, що з точки зору ефективності їх застосування є не раціонально. Тому нашим завданням є розробити та дослідити уніфікований дисково-лопатевий апарат для внесення мінеральних добрив різного спектру.

Метою роботи є: обґрунтування ефективності роботи відцентрово-лопаткового апарату внесення туків, шляхом оптимізації їх конструкційно-кінематичних параметрів.

Досягнення зформульованої мети можливе за вирішення наступних задач:

1. Виконати аналізаційний огляд конструкторів відомих відцентрових апаратів відомих виробників та ефективність застосування машин для внесення туків;
2. Встановити оптимальні значення конструкційно-кінематичних параметрів роботи апарату;
3. Виконати перевірочні дослідження та підтвердити правильність прийнятих рішень в роботі та дати рекомендації по оптимізації роботи розкидального пристрою.

Об’єкт дослідження – технологічний процес розподілу відцентровим апаратом мінепальних гранульованих добрив.

Предмет дослідження – кінематично-конструкційні режими роботи розкидально-лопатевого пристрою і взаємодія між технологічними та конструкційними параметрами.

Методи дослідження. Дослідження проводились із використанням методів механіко-математичного моделювання, теорії руху матеріальної частинки, числові методи розв’язку задач механіки.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Заєць М. Л. Визначення параметрів відцентрового розкидного апарату за умови рівномірності розподілу добрив / М. Л. Заєць, А. О. Ничипорчук // Студентські читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 12-17.
2. Заєць М. Обґрунтування параметрів відцентрово-дискового розкидного апарату мінеральних добрив / М. Заєць, А. Ничипорчук // Матеріали XXIV міжнародного науково-практичного форуму. Львів: ЛНУП., 2023. С. 425-428.
3. Заєць М. Л. Обґрунтування параметрів дискового розкидного апарата мінеральних добрив / М. Л. Заєць, А. О. Ничипорчук // *Біоенергетичні системи: Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи»*. 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 27-31.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 20 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 32 сторінки комп’ютерного тексту, 15 рисунків.

1. ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАСОБІВ ВНЕСЕННЯ ТУКІВ

1.1. Аналіз відомих конструкцій та технологічних процесів внесення добрив

Розкидальні пристрої відцентрової дії були винайдені понад 80 років назад. Будова пристроїв, в загальному, має: диск з горизонтальним чи вертикальним обертанням, на фронтальній поверхні встановлені лопаті з регульованими чи не змінними параметрами встановлення, привод дискового робочого органу відбувається від ВВП трактора з частотою обертання від 10...20 об/с.

Цей тип туковисівних апаратів працює наступним чином, спрямовуючи добрива на певні ділянки площини відцентрового диска, де вони захоплюються лопатями та м надається обертовий рух. Під дією відцентрової сили частинки добрива розганяються вздовж лопатей від координати потрапляння робочої площини до периферії диска. У момент зходу з розкидального диска їх абсолютна швидкість дорівнює сумі вектора переносної та відносної швидкості[6]. Гранули добрив розподіляються по полю, вільно розлітаючись за шириною захвату агрегату. У машинах провідних компаній частоту обертання кожного пристрою можна регулювати індивідуально, що дає можливість при необхідності отримати асиметричні параметри внесення на краях полів. Спроби створити розподільчі пристрої зі складними конфігураціями поверхні дисків та лопатей, що мало б підвищити якість внесення і розподіл добрив, не дали бажаних результатів, а натомість призвели до значних ускладнень при внесенні та складнощів при виготовленні конструкції розкидних апаратів. [5,7].

Що стосується розмірів діаметра дисків, встановлено, що в сучасних машинах він виготовляється в двапазоні розміру 220 ... 980 мм. Визначаючи даний конструкційний показник дискового робочого органу, потрібно враховувати, що його збільшення, призведе до наступних негативних наслідків, таких як погіршення динаміки навантаження на привод дискового апарату, за рахунок підвищенні сил інерції, та збільшення металоємкості і вартості машини. Основна

частина машин для внесення туків має діаметр дискового розкидача 450-850 мм і виготовленого зі сталі товщиною до 2 мм, які мають антикорозійне покриття. Робоча ширина захвату машин, загалом, залежить від конфігурації поверхні диска, що визначає лінію дії напрямку вектору абсолютної швидкості та траєкторію руху гранул добрива з розкидального апарату до горизонту. Національний науковий центр ІМЕСГ, представив розробку розкидального апарату дископодібної конусно форми, що встановлений перевернутим вершиною донизу. Під час роботи цього типу тукорозкидного диска його абсолютна швидкість, з якою частинки добрива висипаються з їх поверхні, під час руху знаходиться під кутом до горизонту. Це дає можливість збільшити робочу ширину без коригування діаметра та частоти обертання диска. Варто зазначити, що кут нахилу між силовим конусом і його основою становив 5° , що не гарантує повного використання потенційної можливості запропонованого пристрою. Німецька компанія «Amazonen» розробила аналогічний розкидний пристрій, але з нахилом твірної перевернутого конуса під більшим кутом, який становив 12° . [2,3]

У розкидачах мінеральних добрив МВУ-0,5 і МВУ-5 встановлювали розкидний диск, конусна перевернута поверхня, якого розташовувалась до твірної з кутом 10° . Прикладались зусилля створити плоскі диски з місцевим нахилом площини потрапляння гранул туків. Кут нахилу його твірної поверхні до горизонту становить до 20° градусів. Виробниками розкидальних машин, був створений диск з конічним наконечником (рис. 1.1), але це рішення не набуло подальшого розвитку, у зв'язку з низькою ефективністю його роботи у порівнянні з конічними дисками. [5,6]

Зрозуміло, що кожен виробник даних пристроїв і машин намагається створити оригінальну конструкцію, що переважала б конкурентів та відрізнялась від їхніх аналогів, але по великому рахунку всі дискові розкидальні апарати мають подібну компоновку.

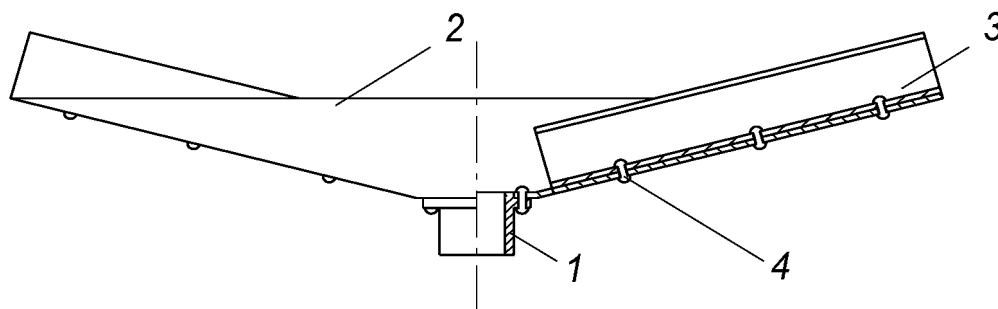


Рис.1.1. Конструкція дисково-рокидного апарата конічної форми:

1- маточина; 2- конічний диск; 3- лопать; 4- кріплення

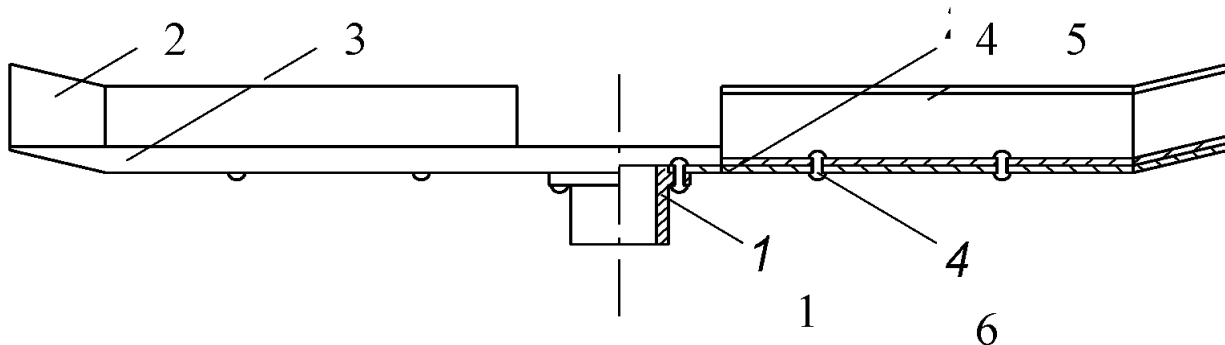


Рис.1.2. Конструкція відцентрового плоского дисково-розкидального пристрою з конічною оправою:

1- маточина; 2- подовжувач лопаті; 3- конічна оправа; 4- диск;
5- лопать; 6- кріплення лопатки

Аналізуючи вітчизняні конструкції можна назвати сновним недолгом даних пристроїв це нерівномірний розподіл добрив за шириною захвату машини, що спричиняє неефективне використання технологічного матеріалу, що здорожчує виробництво та знижує продуктивність вирощування культур.

Одним із істотних недоліків роботи лопаток є налипання пилу добрив на них, а також подрібнення гранул при ударнодинамічному впливі, що негативно відображається на дальності розподілу і зменшує робочу ширину. Намагання уникнути цих проблем шляхом встановлення лопатей з еластичного полімерного

матеріалу, не мали успіху і призвели лише до здорожчання і ускладнення конструкції. Тому при виготовленні сучасних машин використовують лопаті з нержавіючої сталі. Перевагами сталі є низька кородуюча здатність та гладкість поверхні, що призводить до зниження адгезії добрив.

Для підвищення якості розподілу гранульованих добрив спроектовано робочі органи, які мають наступні особливості (рис.1.3.а,б):

- кінці лопаті мають виступи за периферію диска;
- відстань кріплення лопатей внутрішніх і зовнішніх кінців неоднакова;

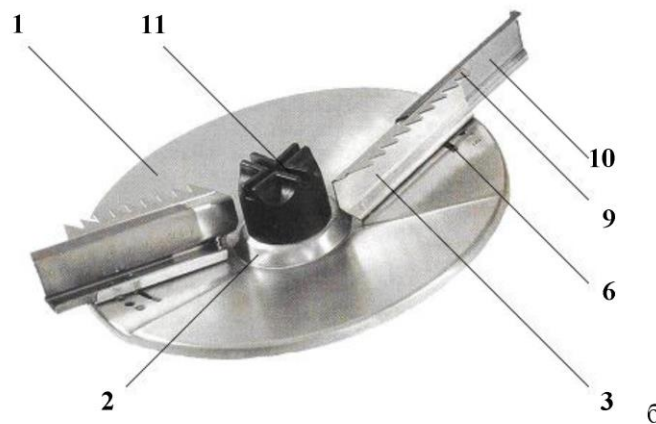
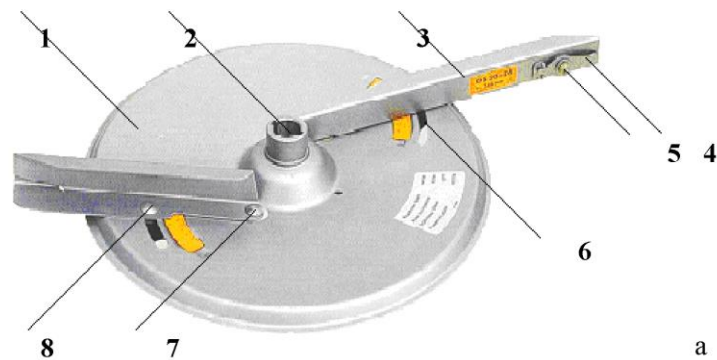


Рис.1.3. Конструкція зарубіжних виробників дико-відцентрових пристроїв:

а, б – диски компаній “Amazone” і “Rauch”(Німеччина):

1- диск; 2- маточина; 3- лопать; 4- козирок-направляч; 5- ось регулювання козирка;
6- зазор; 7- гвинт повороту лопаті; 8- фіксатор лопаті; 9- зубчаста крайка лопаті; 10- подовжувач; 11- гайка кріплення диска

1.2. Аналіз конструкції закордонних виробників машин для внесення туків

Французький виробник техніки для внесення добрив, створив моделі MDS 8.2 і 14.2 спеціально розроблені для виноградників і фруктових садів, де вони можуть плавно переплітатися всередину та назовні рядкових насаджень. Моделі MDS 18.2 і 20.2 (рис. 1.3.) мають широкий спектр розширень, які дають їм більше автономії та дозволяють їм адаптуватися до різних типів тракторів. Існує так багато можливостей щодо розміру, пропускну здатність, відкривання і закривання вихідного отвору і навіть регулювання. [2]



Рис. 1.4. Машина для внесення добрив MDS 18.2 і 20.2

Вузкими машинами легше керуватися між рядами габаритна ширина розкидача добрив MDS 8.2 становить 1,08 м. бункер має «ламані» кути, які сприяють переходу з ряду в ряд без пошкодження посівів. розкривальні диски або обмежувач щоб відрегулювати лопатки для розкидання, потрібно лише кілька секунд до використовуваного продукту та робочої ширини вимагається. направляє обмежувач розкидання на 2 ряди добрива в основу насадження. видимо з сидення водія 2 градуйовані шкали ідеально розташовані спереду бункера, щоб забезпечити водієві ідеальну видимість налаштувань з сидіння трактора. вихідні елементи управління доступні в одному або гідравлічній версії подвійної дії, електричні чи електронні з блоком керування QUANTRON A. [2]

Розкидні диски MDS (Multi-Disc-System) (рис. 1.5.) призначені, для так званого, нормального або пізнього внесення добрив по високих культурах. Легке використання, вони забезпечують високу точність для гранульованих добрив, органічних добрива (гранули), насіння для рослинного покриття або гранули від шкідників. Вони можуть регулюватися відповідно до типу добрива, робочої ширини, довжина, кут і орієнтація розкидних лопаток, які можуть швидко налаштувати відповідно до рекомендацій у налаштуваннях таблиці. Для легкого спорожнення та очищення диски можна швидко очистити знімається без інструментів. Це забезпечує точні схеми розкидання з високою точністю з усіма видами добрив (включаючи органічні добрива), дрібне насіння та гранули від шкідників. [2]



Рис. 1.5. Розкидні диски MDS (Multi-Disc-System)

Диски М1 постачаються стандартно для робочої ширини між 10 і 18 м. Використання дисків М2 допускає ширину від 18 до 24 м залежно від продуктів, які будуть намазуватися, не змінюючи якість розкидання при оптимізації врожайності на краю поля. Пристрій з одним бункером МДС .2 має компактну конструкцію з ідеальним центром ваги. Цей пристрій дозволяє використовувати невеликі трактора, не порушуючи якості роботи, сприяє збереженню ґрунту структуру та підвищить вашу стійкість під час руху дорогами. [2]

Дворядне розкидання для розкидання в садах і виноградниках дворядний розкидний пристрій виготовлений з нержавіючої сталі. Цінні добрива зберігаються як поживні речовини доставляється в кореневу зону просапних культур і в неї не потрапляє гранулят машинної колії. Це специфічне пристосування можна легко налаштувати на відстані від 2 до 5 м без інструментів (рис. 1.6.). [2]



Рис. 1.6. Пристосування МДС .2

Усі МДС .2 придатні для розкидання в органічному землеробстві. Скористайтеся діаграмами розкидання для певних схвалених органічних добрив, таких як пелети або гранули. Також забезпечений легкий процес обслуговування та чищення бункера. Крім того, висока частка нержавіючої сталі матеріали та продумане порошкове покриття зберігають цінність і термін служби моделей МДС протягом багатьох років. Як варіант, ви можете оснастити розкидувач МДС .2 пристрій, спеціально розроблений для просапних культур, таких як кукурудза,

полуниця, овочами та ін. Дозволяє забезпечити точно до семи рядів с потрібного добрива одночасно. Цей пристрій можна налаштувати різні кількості дозування та міжряддя всього за кілька простих кроків. З одного боку, це економить добриво, а з іншого – економить навколишнє середовище. Його можна комбінувати з MDS 14.2, 18.2 і 20.2. моделями. [2]

AMAZONE при розробці техніки для внесення покращених орієнтується на оптимізацію живлення рослин. Для практичного внесення добрив інтерес представляє в першу чергу прецизійність розміщення поживних речовин. AMAZONE пропонує лінійку розкидачів гранульовани добрив, яка відповідає всім європейським стандартам точності розподілу та граничного розподілу. [3]



Рис. 1.7. Розкидач гранульованих добрив AMAZONE ZA-X

Перевагами на перший погляд даної машини є, подвіна конструкція бункера для добрив з оптимізованою формою, для постійного контролю функцій та більшої прецизійності. Дрібно-пористі сітчасті фільтри запобігають несправності при розподілі і легко складаються і закріплюються для очищення агрегату. Виготовлена повністю з нержавіючої сталі система розподілу Комфорт і надійність завдяки простому та легко доступному налаштуванню норми внесення та ширини захвату. Система подвійних заслінок для оптимального регулювання норми внесення та швидкого відкривання та закривання бункера. Пристрій для розподілу по рядах для оптимального внесення добрива під час обробітку технічних культур. [3]

Навісний розкидач добрив ZA-M (рис. 1.8.), з об'ємом бункера до 3.000 л та шириною захвату 36 м, є ідеальною машиною для сільськогосподарських підприємств та підрядних організацій, для яких точність та надійність мають велике значення. Високопродуктивні мішалки, що повільно обертаються, і низька кількість обертів дисків сприяють рівномірному, ощадному потоку добрив. [3]



Рис. 1.8. Навісний розкидач добрив ZA-M

Навісний розкидач ZA-V (рис.1.9.) з об'ємом бункера від 1400 до 4200 л переконає своєю високою робочою швидкістю до 30 км/год. Завдяки високій пропускній здатності до 390 кг/хв та ширині захвату до 36 м досягається особливо висока продуктивність. ISOBUS-комунікація, техніка, що зважає, гідравлічний або електричний пристрій для прикордонного розподілу Limiter V або V+ і безліч опцій роблять розподільник ZA-V дуже сучасною машиною.



Рис. 1.9. Навісний розкидач ZA-V

Висновки до розділу 1. Проаналізовано конструктивнотехнологічні параметри відомих вітчизняних та зарубіжних машин та їх робочих органів для внесення мінеральних добрив суцільним способом. Встановлено, що не всі пристрої забезпечуть процес якісного та ефективного розподілу туків в оптимальних параметрах під час роботи. Оптимальна продуктивність та рівномірність розподілу гранульованих мінеральних добрив суттєво залежить від ширини захвату та конструкційних параметрів дисково-розкидного апарату туків.

Огляд конструкцій машин для внесення добрив відцентро-водискового типу довів, що основні зусилля та напрямки удосконалення дисково-розкидних робочих органів машин направлені на підвищення ефективності роботи розкидачів.

Встановлено основні недоліки існуючих туко-розкидних апаратів машин з відцентрово-дисковими робочими органами і прийнято рішення, виконати дослідження якісних показників роботи відцентрово-лопатевого диска розкидача мінеральних добрив аналітичним та дослідницькими методами.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВО-ДИСКОВОГО РОЗКИДНОГО АПАРАТУ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

2.1. Визначення основних параметрів дискового тукорозкидного апарату

Теоретичне ґрунтування технологічного процесу рокидного дискового тукowego апарату має два основні етапи:

- подача добрив крізь вихідний отвір;
- сходження гранул туків з поверхні диска.

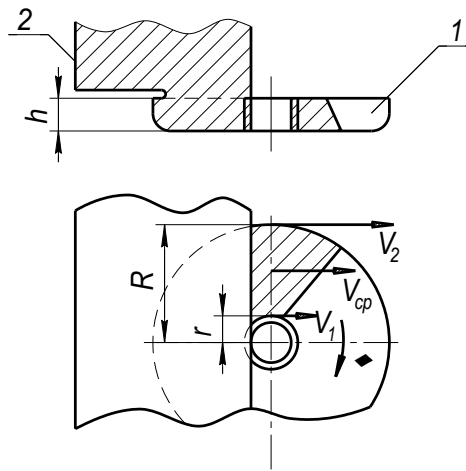


Рис. 2.1. Схема виведення добрив тарілкою туковисівного апарату:

1-диск; 2-бункер.

Подача туків за одну секунду диском Q_c з бункера залежить від площі поперечного перерізу вихідного перетину S та колової швидкості диска V_{cp} (рис. 2.1.)[5]

$$Q_c = S \cdot V_{cp} \cdot \rho, \quad (2.1)$$

де ρ - об'ємна маса туків, кг/м³;

якщо

$$S \approx h(R-r),$$

Тоді середня колова швидкість буде визначатись

$$v_{cp} \approx (V_1 + V_2)/2 = \omega \cdot (R + r)/2 ;$$

де h - висота вихідного петину, м.

Тоді секундна подача туків становить

$$Q_c = \rho \cdot \omega \cdot h \cdot (R^2 - r^2)/2 . \quad (2.2)$$

З врахуванням дози внесення добрив заленість запишеться у вигляді:

$$Q_c = \frac{10^{-4} \cdot Q \cdot b_p \cdot V_m}{z} , \quad (2.3)$$

де Q - доза внесення добрив, кг/га;

b_p - робоча ширина захвату розкидного апарату, м;

V_m - лінійна швидкість агрегату, м/с;

z - кількість розкидних апаратів., шт.

Співвідношення правих частин виразів (2.2., 2.3) дасть формулу визначення висоти прохідного вікна:

$$h = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot Q \cdot b_p \cdot V_m}{\rho \cdot \omega \cdot z \cdot (R^2 - r^2)} . \quad (2.4)$$

2.2. Теоретичне обґрунтування процесу роботи дисково-відцентрового розкидного апарата

Технологічний процес виконання внесення гранульованих туків дисково-відцентровим апаратом складається з наступних етапів:

- рух гранул туків відносно поверхні диска;
- розподіл гранул добрив кинутих у площині обертання диска.

Моделювання процесу розподілу, важливо розпочати з визначення мінімальної частоти обертання розкидного диска, необхідній для початку руху гранул по поверхні диска в координаті потрапляння. Щоб математично описати процес початку розподілу добрив, розглянемо площину робочої поверхні диска, в точці потрапляння частинки туків (рис. 2.2.).

На матеріальну точку діє: сила тертя $F_{mp} = m \cdot g \cdot f$ і зусилля відцентрового переносного руху $F_e = m \cdot \omega^2 \cdot r_a$ (рис. 2.2., а), тоді рівняння рівноваги частинки запишемо наступним чином:[5]

$$F_e = F_{mp} \cdot \quad (2.5)$$

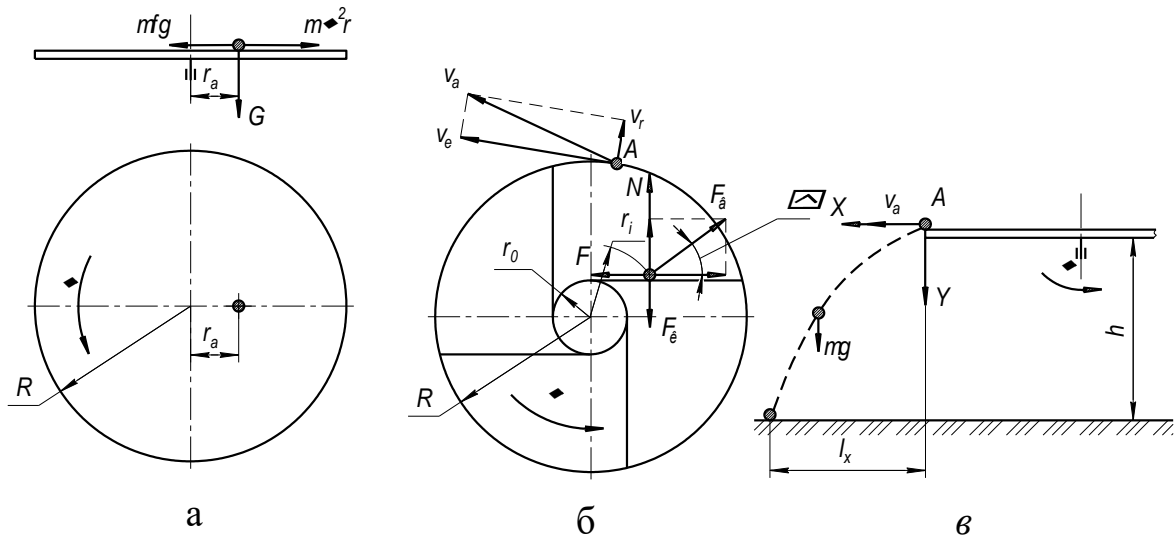


Рис. 2.2. Розрахункова схема відцентрового дисково-розкидного апарата

Підставимо складові виразу та отримаємо:

$$m \cdot \omega^2 \cdot r_a = m \cdot g \cdot f \cdot \quad (2.6)$$

Враховучи, що $r_a = r_0$ - радіус переносного руху рівний мінімальному значенню радіуса потрапляння добрив із бункера, і $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$, тоді, підставимо параметри та отримаємо вираз мінімальної частоти обертання диска:

$$n_{min} = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot f}{r_0}} \cdot \quad (2.7)$$

Отримали значення теоретичної частоти обертання розкидного диска n_{min} розрахованою за формулою (2.7), при якій відбувається початок руху частинки добрив по його поверхні.

Матеріальна частинка добрив, що потрапила на поверхню диска, через якийсь час потрапить до лопатки, тобто подальший рух буде відбуватись вздовж радіуса лопаті. Під час ковання гранули добрив на неї відбувається дія: сили відцентрової інерції $F_e = m \cdot \omega^2 \cdot r_i$, яка розкладається на дві складові по напрямку вздовж лопаті $m \cdot \omega^2 \cdot r_i \cdot \cos \psi$ та її тангенціальна складова $m \cdot \omega^2 \cdot r_i \cdot \sin \psi$; а також коріолісова сила інерції $F_k = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot r_i$, що направлена в протилежну сторону відносно вектора коріолісового прискорення; сили тертя частинки по поверхні диска $F_1 = m \cdot g \cdot f_1$ та відповідно по лопаті, буде становити $F_2 = m \cdot f_2 (2 \cdot \omega \cdot r_i - \omega^2 \cdot r_i \cdot \sin \psi)$. Враховує всі складові, умова рівноваги запишеться наступним чином:

$$F_1 + F_2 + F_e \cdot \cos \psi = 0. \quad (2.8)$$

звідки

$$m \cdot (g \cdot f_1 + f_2 (2 \cdot \omega \cdot r_i - \omega^2 \cdot r_i \cdot \sin \psi)) - m \cdot \omega^2 \cdot r_i \cdot \cos \psi = 0. \quad (2.9)$$

Враховуючи граничні умови $r_i = r_0$ і $f_1 = f_2$, отримаємо рівняння

$$g \cdot f + 2 \cdot \omega \cdot r_0 \cdot f - \omega^2 \cdot r_0 \cdot f \cdot \sin \psi - \omega^2 \cdot r_0 \cdot \cos \psi = 0. \quad (2.10)$$

тоді

$$r_0 = \frac{g \cdot f}{\omega^2 \cdot f \cdot \sin \psi + \omega^2 \cdot \cos \psi - 2 \cdot \omega \cdot f}. \quad (2.11)$$

Встановимо значення мінімального радіуса потрапляння частинки добрив, що створить умову руху туків вздовж лопатки диска.

Добрива досягнувши кінця лопатки, сходять та відбувається її політ. Тоді абсолютна швидкість руху частинки добрив буде визначатись

$$\vec{V}_a = \vec{V}_r + \vec{V}_e. \quad (2.12)$$

Прийнявши, що $\vec{V}_r \perp \vec{V}_e$, можна записати, як $\vec{V}_a \approx \vec{V}_e$, тобто швидкість переносного руху добрив з диском.

Враховує невеликий розмір гранул туків, опір повітря під час польоту частинки виначимо а допомогою системи рівнянь:

$$\begin{cases} x = V_a \cdot t; \\ y = \frac{g \cdot t^2}{2}, \end{cases} \quad (2.13)$$

де t - тривалість польоту добрив.

З іншого рівняння системи за умови $y = h$ визначимо час польоту

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}, \quad (2.14)$$

де h - висота встановлення дискового апарату відносно поверхні поля, м
враховуючи час t з першого рівняння системи (2.13) можна встановити координату потрапляння частинки туків

$$x = l_x = V_a \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}, \quad (2.15)$$

де l_x - шлях, який пододала частинка добрив, м.

Отриманий математичний вираз можна застосувати для розрахунку ширини захвату машин для внесення та рокидання туків

$$b = 2 \cdot V_a \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} + l_a, \quad (2.16)$$

де l_a - міжосьова відстань дисків, $l_a = (2,4 \dots 2,6) \cdot R$.

За допомогою отриманих рівнянь встановлено значення параметрів в центрово-дискового апарату $h = 0,45 \dots 0,65$ м; $\psi = 0 \dots \pm 15^\circ$; $V_a = V_e = V = 6 \dots 14$ м/с;

$V_m = \frac{V}{3 \dots 4}$, де V_m - лінійна швидкість агрегату.

Висновки до розділу 2. Отримали значення теоретичної частоти обертання розкидного диска, що становить $n_{min} = 686 \text{ хв}^{-1}$ розрахованою за отриманою моделлю (2.7), при якій відбувається початок руху частинки добрив по його поверхні. Матеріальна частинка добрив, що потрапила на поверхню диска, через якийсь час потрапить до лопатки, тобто подальший рух буде відбуватись вздовж радіуса лопаті.

Встановлено значення мінімального радіуса, координати потрапляння добрив, що забезпечує рух гранул вздовж лопаті дискового розкидального апарату та створюються умови польоту частин туків. Визначено абсолютну швидкість руху частинок добрив, що становить $\bar{V}_a \approx \bar{V}_e$.

За допомогою отриманих рівнянь встановлено значення параметрів в центрово-дискового апарату $h = 0,45 \dots 0,65$ м; $\psi = 0 \dots \pm 15^\circ$; $V_a = V_e = V = 6 \dots 14$ м/с;

$V_m = \frac{V}{3 \dots 4}$, з урахуванням зміни лінійної швидкості агрегату.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВО-РОЗКИДНОГО ДИСКА ТУКІВ

3.1. Опис методики проведення дослідів по визначенню дальності розподілу добрив

Аналізуючи результати випробувань інших дослідників [17, 18, 19, 20,], та авторських свідотств і матеріалів, які отримали доведені показники роботи розкидних апаратів дводискової компоновки та довели хню доцільність та ефективність. Ефективність виконання робочого процесу розподілу туків та меліорантів відцентрово-дисковим апаратом змінюється під впливом наступних факторів: кут встановлення дисків до горизонту, форма та геометричні параметри лопатей і частота їх приводу, що в основній мірі впливають на дальність та рівномірність розподілу матеріалу за шириною захвату машини, а також енергетичну складову робочого процесу.

Поставивши завдання визначити оптимальні параметри відцентрово-дискового апарату розкидання туків, нами запропонований наступний, досить простий метод, обґрунтування його параметрів при внесенні різних за механіко-технологічними властивостями туків, що дозволить встановити значення впливових факторів на параметр оптимізації технологічного процесу внесення добрив.

Використавши методику Заїки П. М. [19], що описав рух матеріальної точки по площині обертового диску в горизонтальній площині з тангенціально встановленими лопатями. Врахувавши характеристики траєкторії руху гранул добрив по лінійно виготовлених лопатях, та методику визначення фактичної дальності польоту частин туків, за встановленою методикою [19].

Траєкторія переміщення частинки добрив, не враховуючи опір повітря під час руху, можна записати системою рівнянь у параметричному вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = V_a \cdot t \\ y = \frac{gt^2}{2} \end{array} \right\}, \quad (3.1)$$

де x і y – координати потрапляння гранул добрив на диск; t – час польоту частин;

V_a – абсолютна швидкість матеріальної точки добрив.

Абсолютна швидкість V_a сходу туків з поверхні лопаті [5]:

$$V_a = \sqrt{\frac{\omega^2 \cdot R^2}{2} + (V_r \cos \psi_0)^2}. \quad (3.2)$$

де ω - швидкість кутова диска, рад/с;

R - радіус диска, м; V_r – відносна швидкість переміщення добрив, м/с;

ψ_0 – значення кута встановлення лопаті до горизонту, град.

Швидкість руху точки відносно лопатки визначимо за виразом [5]:

$$V_r = \frac{\omega}{1 + \sin \varphi} \cdot ((R - r_0) \cos \varphi + r_0 \cos(\psi_0 + \varphi)) , \quad (3.3)$$

де φ - кут тертя добрив по сталі диска, град.;

R – радіус розкидного диска, м;

r_0 – радіус координати потрапляння частинок добрив на площину диска, м.

Встановивши висоту відцентрово-розкидного апарату рівною $H = y$, отримаємо значення дальності розподілу L частинок туків:

$$L = V_a \sqrt{\frac{2H}{g}}. \quad (3.4)$$

де H - висота положення відцентрово-розкидного апарату, м.

Скориставшись отриманою залежністю встановимо дальність розподілу гранул туків, не враховуючи опір повітря під час руху.

Запропоновано пристрій для визначення дальності розподілу туків, за змінного кута положення лопаті диска показано на (рис. 3.1), який має наступну будову: 1- відцентрово-дисківий апарат; 2- лопаті Г – подібного профілю, які закріплені до поверхні диска, з можливістю регулювання положення кута по напрямку його руху.

З метою швидкої зміни режиму частоти обертання дискового апарату 1 застосовували електродріль 4 із реостатною зміною обертів, для фіксації вмикача застосували кріплення 5 з фіксатором 6, та подача туків відбувалась за допомогою металевого конусного направляча добрив 7 з постійним діаметром прохідного перетину.

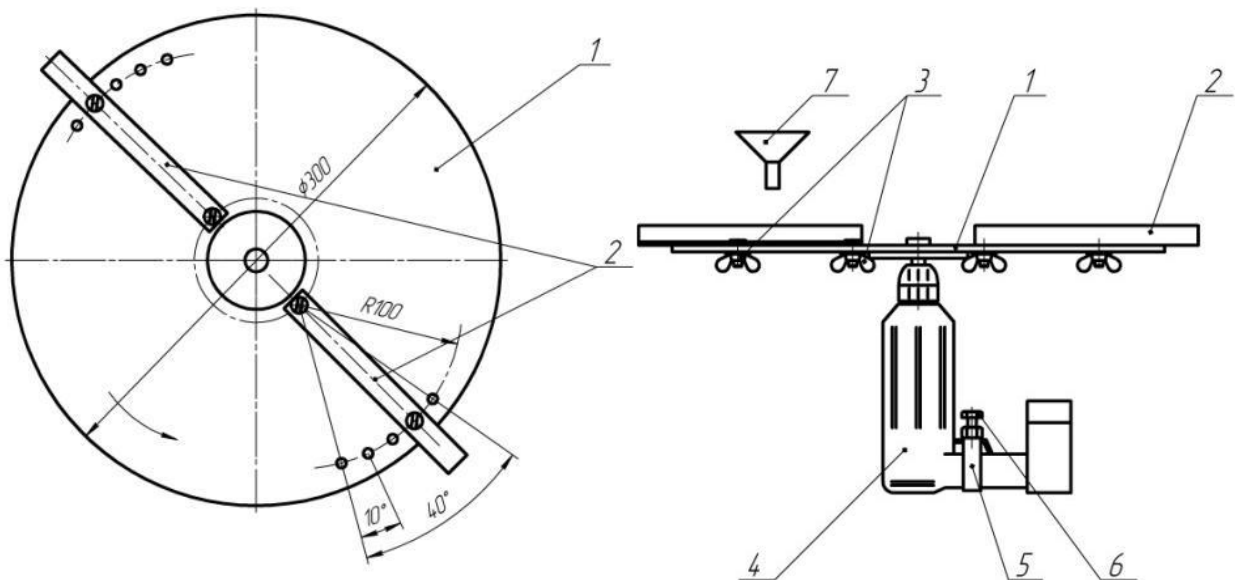


Рис. 3.1. Конструкційна схема пристосування дослідження дальності розподілу мінеральних гранульованих добрив

1 - розкидний дисківий апарат; 2 - лопаті; 3 - кріплення лопатей; 4 - електродріль; 5 - кріплення вмикача; 6 - фіксатор; 7 - конусний направляч мінеральних добрив.

Регулюючи кут встановлення лопаті, за допомогою виконаних отворів в диску, розкидача по напрямку його руху, зміна відбувалась кроком у 15° . Таким способом

досягали регулювання кінцевого положення вихідного пера лопаті в межах зміни кута встановлення $15...35^{\circ}$, що дозволило отримати широкий діапазон положень.

3.2. Результати досліджень дальності розподілу мінеральних гранульованих добрив

Встановивши в горизонтальній площині відцентрово-дисківий лопатевий апарат (рис.3.2.) в патроні електродрилі на висоті приблизно 800 мм від умовного поля, за допомогою реостатного регулятора, приводили в дію пристосування з частотою обертання в межах $11...18 \text{ об}^{-1}$. Здійснюючи подавання матеріалу добрив з координатами потрапляння на диск, в межах радіуса r_0 від осі обертання диска з параметрами 90; 110; 130 мм.

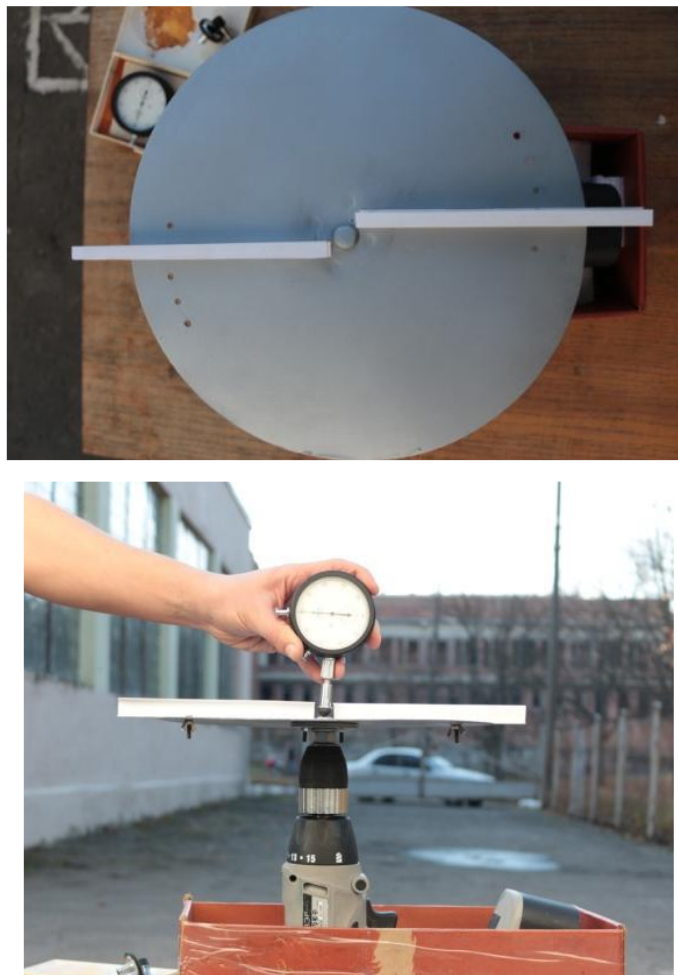


Рис. 3.2. Експериментальна установка дослідження дальності розподілу мінеральних гранульованих добрив

Визначаючи дальність розподілу добрив L (рис. 3.3). Оберти регулювали а допомогою тахометр годинникового типу СК тип 751 ($n = 50 \dots 5000 \text{ об/хв}$ з відхиленням $\pm 0,5\%$). Вимірювання дальності розподілу добрив застосовували вимірювальний прилад Лазерний далекомір Dnipro-M 60TF (дальністю вимірювання від 0,15-60 м, з похибкою вимірювання $\pm 1,5$ мм). Використовували туки нітроамофосфати середнім діаметром гранул 3,5...5,5 мм. Повторність досліджень виконували у трьох повтореннях. Обробку результатів виконували за допомогою ПЕОМ та програмним забезпеченням Excel.

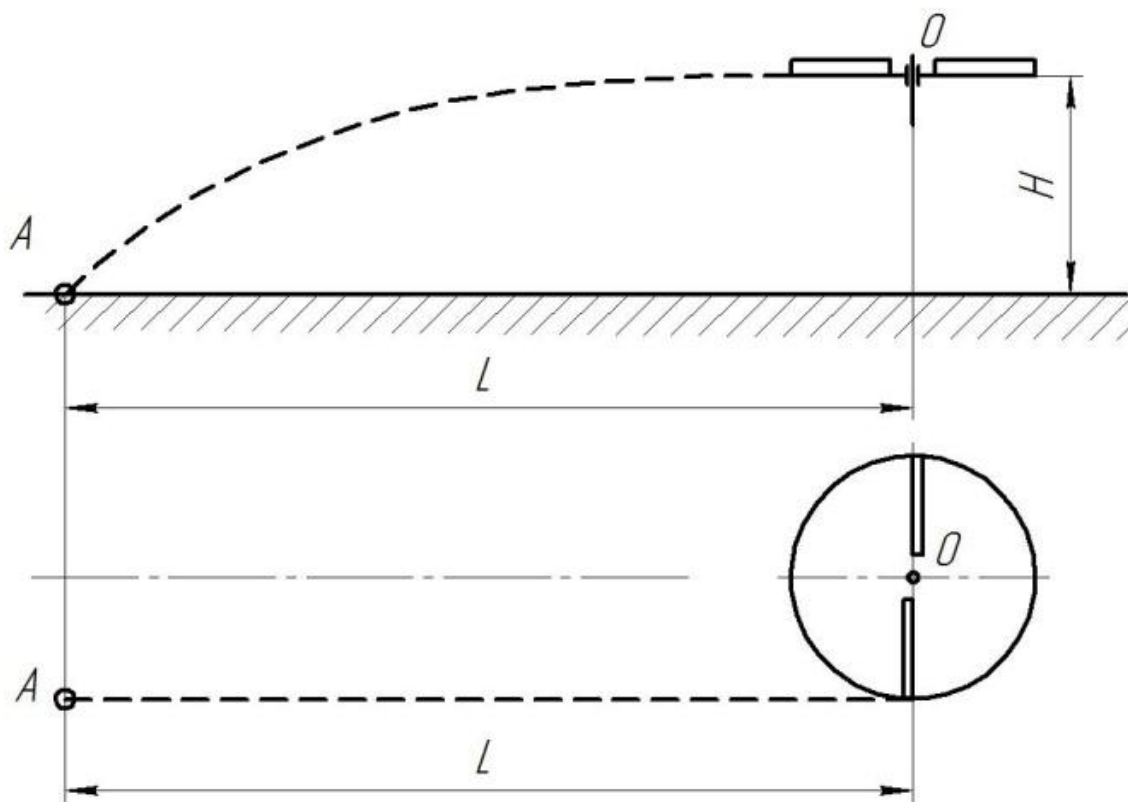


Рис. 3.3. Розрахункова схема вимірювання дальності розподілу туків

За результатами досліджень та вимірювання дальності розподілу добрив, отримали графічну залежність положення кутового значення лопаті та величини дальності розподілу туків за шириною розкидання відцентрового апарату, у порівнянні аналітичних (залежність 3.4) та експериментальних даних (рис. 3.4).

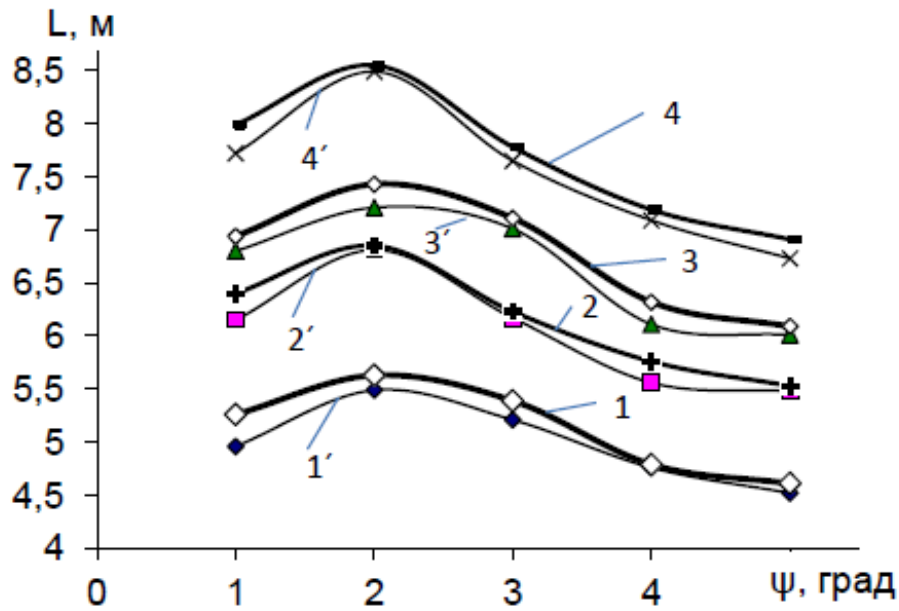


Рис. 3.4. Графічна залежність положення кутового значення лопаті та величини дальності розподілу туків за шириною розкидання відцентрового апарату (за

$$r_0 = 110 \text{ мм}):$$

(1- 4)' – експериментальні дані, при $n = 700, 800, 900, 1000 \text{ об/хв}$; 1-4 – аналітичні дані при $n = 700, 800, 900, 1000 \text{ об/хв}$.

Після проведення досліджень встановлено, що дальність розподілу туків збільшується із зростанням частоти обертання диска незалежно від зміни кута встановлення лопаті. Але при положенні кута $\psi = 0$ та $n = 700 \text{ об/хв}$ отримано максимальний показник дальності розподілу добрив $L = 5,5 \text{ м}$, а при $n = 1000 \text{ об/хв}$, становить $L = 8,5 \text{ м}$. Мінімальні показники по дальності розподілу дисковим апаратом отримали при кутовому значенні встановлення лопаті $\psi = -35^\circ$, відповідно $L = 4,5 \text{ і } 6,8 \text{ м}$.

Висновки до розділу 3. Графіки дальності розподілу добрив отримані експериментальним шляхом показують, що при зміні кута встановлення лопаті $\psi = 10 \dots 0^\circ$ мають подібну форму – дальність розподілу зростає, а при зміні $\psi = 0^\circ \dots -30^\circ$ знижується. За умови збільшення швидкості обертання дисків $n = 900 \dots 1000 \text{ об/хв}$ величина дальності має значну похибку, що пов'язано із

руйнуванням гранул при контактi удару з лопатями диска та зниження маси гранул та iнерцiї польоту частинки.

Отримано пiдтвердження аналітичних припущень згiдно виразiв (3.2.,3.4) експериментальними даними.

Встановлено, що для добрив розмiром гранул вiд 3,5...5,5 мм нiтроамофосу, частоту обертання диска регулювати в дiапазонi $n = 700...900 \text{об/хв}$, а кут встановлення лопатi в межах $\psi = 0^0...-10^0$.

Аналіз результатiв дослiдень свiдчить, що максимальну дальнiсть розподiлу нiтратних добрив отримамо при кутi положення лопатки вiдцентрово-дискового апарату у межах $\psi = 0^0...-10^0$ по напрямку руху з частотою обертання $n = 700...900 \text{об/хв}$.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Огляд конструкцій машин для внесення добрив відцентро-водискового типу довів, що основні зусилля та напрямки удосконалення дисково-розкидних робочих органів машин направлені на підвищення ефективності роботи розкидачів. Встановлено основні недоліки існуючих туко-розкидних апаратів машин з відцентрово-дисковими робочими органами і прийнято рішення, виконати дослідження якісних показників роботи відцентрово-лопатевого диска розкидача мінеральних добрив аналітичним та дослідницькими методами.
2. Отримали значення теоретичної частоти обертання розкидного диска, що становить $n_{min}=686 \text{ хв}^{-1}$. Встановлено значення мінімального радіуса, координати потрапляння добрив, що забезпечує рух гранул вздовж лопаті дискового розкидального апарату та створюються умови польоту частин туків. Визначено абсолютну швидкість руху частинок добрив, що становить $\vec{V}_a \approx \vec{V}_e$.
3. За допомогою отриманих рівнянь встановлено значення параметрів відцентрово-дискового апарату $h=0,45\dots0,65 \text{ м}$; $\psi=0\dots\pm 15^\circ$; $V_a=V_e=V=6\dots14 \text{ м/с}$; $V_m = \frac{V}{3\dots4}$, з урахуванням зміни лінійної швидкості агрегату.
4. Отримані експериментальні дані доводять, що при зміні кута встановлення лопаті $\psi = 10\dots0^\circ$ мають подібну форму – дальність розподілу зростає, а при зміні $\psi = 0^\circ\dots-30^\circ$ знижується. За умови збільшення швидкості обертання дисків $n=900\dots1000 \text{ об/хв}$ величина дальності має значну похибку, що пов'язано із руйнуванням гранул при контакті удару з лопатями диска та зниження маси гранул та інерції польоту частинки.
5. Аналіз результатів дослідень свідчить, що максимальну дальність розподілу нітратних добрив отримаємо при куті положення лопатки відцентрово-дискового апарату у межах $\psi = 0^\circ\dots-10^\circ$ по напрямку руху з частотою обертання $n = 700\dots900 \text{ об/хв}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.deere.ua/uk/>
2. <https://www.kuhn.ua>
3. <https://amazone.com.ua>
4. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д. Г. Войтюк, В.О. Дубровін, та ін.; За ред. Д. Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.
5. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин: навч. посібник // Т. 1 : Машини для захисту рослин від шкідників і хвороб, ч. 4. Х. : ОКО, 2002. 272 с.
6. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. – К.: Вища освіта, 2005. 464 с.
7. Адамчук В.В. Механіко-технологічні і технічні основи підвищення ефективності внесення твердих мінеральних добрив та хімміліорантів: дис. доктора техн. наук / В.В. Адамчук. К., 2006. С. 441.
8. Бабарика С.Ф. Обґрунтування параметрів робочих органів машин для поверхневого внесення сапропелів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук / С.Ф. Бабарика. – Тернопіль, 2010. С. 20. 89
9. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. К. : Изд-во УАСХН, 1960. С. 283.
10. Ловейкін В.С. Математичне моделювання руху частинки мінеральних добрив після сходження з диска відцентрового розкидача за наявності змінного аеродинамічного опору середовища (повітря) / В.С. Ловейкін, Ю.В. Човнюк, А.І. Дитюк.
11. Оптимізація механізованих технологій змінних норм внесення технологічних матеріалів [рекомендації] / [Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, Г.Р. Гаврилюк та ін.]; за заг. ред. Д.Г. Войтюка. – К. : Аграрна освіта, 2003. – С. 55.
12. Бойко А.І., Свірень М.О., Шмат С.І., Ножнов М.М. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин. К., 2003. 203 с.

13. Сисолін П.В., Рибак Т.І., Сало В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 2. К.: Урожай, 2002. 364 с.
14. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропивний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. К.: Урожай, 2001. 384 с.
15. Заєць М. Л. Система точного припосівного дозування рідких добрив / М. Л. Заєць, // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2021. С. 13-16.
16. Горбатенко І. Ю. Основи наукових досліджень / І. Ю. Горбатенко. К. : Вища школа, 2001. 92 с.
17. Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень. К. : НАУ, 2001. 247 с.
18. Василенко П. М. Теорія руху частинки по шорстких поверхнях сільськогосподарських машин / П. М. Василенко. К.: УАХСН, 1960. 283 с.
19. Заїка П. М. Вибрані завдання землеробської механіки / П. М. Заїка. К.: УСХА, 1992. 510 с.
19. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Машини для приготування і внесення добрив / П. М. Заїка. Харків: Око, 2002. Т. 1, ч. 3. 352 с.
20. Войновський В. Порівняння механізмів та принципу роботи розкидачів мінеральних добрив / В. Войновський, А. Войновська, І. Коломієць, О. Сліпченко // Техніка і технології АПК. Вересень 2014. – № 9(60). С. 18–20.