

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

АДАМЧУК ОЛЕГ ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 631.333

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ
УДОСКОНАЛЕНОВОГО ВІДЦЕНТРОВОГО РОБОЧОВОГО
ОРГАНА МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ
ДОБРІВ**

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України.

Науковий керівник: академік НААН, доктор технічних наук, професор, **Булгаков Володимир Михайлович**, Національний університет біоресурсів і природокористування України, професор кафедри механіки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Мельник Віктор Іванович**, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, проректор з наукової роботи;

кандидат технічних наук, доцент, **Пономаренко Наталія Олександрівна**, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, доцент кафедри тракторів і сільськогосподарських машин.

Захист відбудеться «29» квітня 2021 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.854.02 у Вінницькому національному аграрному університеті за адресою: 21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного аграрного університету за адресою: 21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3.

Автореферат розіслано «27» березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



І.В. Твердохліб

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У парку машин для внесення мінеральних добрив провідних країн світу домінують машини, обладнані відцентровими розсівними робочими органами. Розробники нових моделей машин на етапі їх створення прагнуть шляхом відповідного конструктивного виконання робочих органів забезпечити підвищення продуктивності машин на операції внесення мінеральних добрив.

Продуктивність машин для внесення мінеральних добрив залежить від їх робочої ширини захвату, робочої швидкості агрегата та коефіцієнта використання часу зміни. Потенційні резерви підвищення зазначеної продуктивності шляхом збільшення як робочої швидкості агрегата, так і коефіцієнта використання часу зміни вже вичерпані. Підвищення продуктивності машин можливе лише шляхом збільшення робочої ширини захвату, але воно теж має обмеження щодо збільшення частоти обертання тукорозсівних робочих органів та висоти їх установки над поверхнею ґрунту. У зв'язку з цим підвищення продуктивності машин для внесення мінеральних добрив шляхом збільшення робочої ширини захвату є актуальною проблемою, яка потребує вирішення з проведенням необхідних наукових досліджень.

Базуючись на викладеному, нескладно зробити висновок про те, що існує **народногосподарська задача**, суть якої полягає у відносно низькій продуктивності машин для внесення мінеральних добрив, а, відповідно, і їх низькій техніко-економічній ефективності.

Зазначене призводить до необхідності вирішення **науково-технічної задачі** з підвищення продуктивності машин і зменшення питомих витрат на виконання технологічної операції внесення мінеральних добрив.

Робоча гіпотеза полягає в тому, що спрямування переносної швидкості мінеральних добрив у момент їх сходження з відцентрового тукорозсівного робочого органа під кутом до горизонтальної площини шляхом установки осі зазначеного робочого органа з нахилом до вертикалі забезпечить збільшення дальності розсівання добрив, а, відповідно, і збільшення робочої ширини захвату та продуктивності машин для внесення мінеральних добрив.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що склали основу дисертаційної роботи, виконувались у Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України відповідно до завдань II рівня 40.01-048/01 Ф «Розробити та дослідити раціональні просторові математичні моделі і на їх базі сформувавати наукові основи нових і удосконалених способів дозування і розподілу мінеральних добрив та хіммеліорантів» (ДР № 0107U012425, 2010 р.), 33.0100.44П «Розробити технологічний процес забезпечення зернових культур елементами живлення на базі нових і удосконалених технічних засобів» (ДР № 0114U002050, 2015 р.)

Мета і задачі дослідження. Метою досліджень є підвищення продуктивності машин для внесення мінеральних добрив шляхом збільшення їх робочої ширини захвату.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі **задачі**:

- теоретичним шляхом дослідити процес розгону добрив тукорозсівним робочим органом з нахиленою віссю обертання (ТРОН);
- теоретичним шляхом дослідити вплив кута установки диска ТРОН до горизонтальної площини на дальність розсівання частинок добрив;
- з використанням результатів теоретичних досліджень обґрунтувати раціональні параметри та режими роботи ТРОН;
- експериментальним шляхом підтвердити основні результати теоретичних досліджень;
- експериментальним шляхом дослідити вплив кута установки диска ТРОН на робочу ширину захвату машини для внесення мінеральних добрив;
- провести оцінку експериментального зразка машини для внесення мінеральних добрив, обладнаної ТРОН, в умовах агропромислового виробництва;
- визначити економічну ефективність машини для внесення мінеральних добрив, обладнаної ТРОН.

Об'єкт дослідження – технологічна операція внесення мінеральних добрив з використанням машини, обладнаної запропонованим ТРОН.

Предмет дослідження – закономірності впливу конструктивних параметрів та режимів роботи запропонованого ТРОН машини для внесення мінеральних добрив на її техніко-експлуатаційні показники.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень вищої математики, теоретичної механіки, теорії механізмів і машин.

Експериментальні дослідження проведено з використанням розроблених методик та чинних державних стандартів, регресійного аналізу, статистичних методів опрацювання результатів досліджень, стандартного та спеціально створеного експериментального обладнання.

Розрахунки виконували із застосуванням наступних програмних пакетів «MATLAB 6.5», «Microsoft Office Excel 2007», Statistica 8.0, Mathcad.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

– вперше отримані математичні моделі, які описують закономірності розгону частинок мінеральних добрив відцентровим розсівним робочим органом з нахиленою віссю обертання за врахування параметрів та режимів його роботи, фізико-механічних властивості мінеральних добрив та кожного з чотирьох секторів диска зазначеного робочого органа, в який може здійснюватись подача мінеральних добрив, що дає можливість проаналізувати робочий процес відцентрового розсівного робочого органа з нахиленою віссю обертання;

– вперше теоретичним шляхом отримано залежності для визначення відносної швидкості руху добрив уздовж лопаток відцентрового розсівного робочого органа з нахиленою віссю обертання і її значень у момент сходження добрив із зазначеного робочого органа;

– набула подальшого розвитку методика експериментального визначення основних характеристик розсівання мінеральних добрив відцентровим розсівним робочим органом з нахиленою віссю обертання, що дає можливість дослідити нерівномірність розподілу добрив за напрямком їх розсівання;

– отримала подальший розвиток методика визначення параметрів та режимів роботи відцентрового розсівного робочого органа, а саме: з нахиленою віссю обертання, що дає можливість за врахування вихідних умов досягати збільшення продуктивності машин та зменшення прямих експлуатаційних витрат на операції внесення мінеральних добрив.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані дисертантом результати досліджень були використані при створенні технічних рішень, реалізованих у нових технічних засобах для внесення мінеральних добрив, які захищені сімома патентами України на винаходи №№ 74911, 76226, 76327, 76362, 76501, 77024, 77522. Окрім того, на одне технічне рішення отримано деклараційний патент на корисну модель № 12794, а на інші два технічних рішення отримано деклараційні патенти на винаходи №№ 62160, 63703.

Результати науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт дисертанта використані Дослідним конструкторсько-технологічним бюро Інституту механізації та електрифікації сільського господарства при розробленні і виготовленні на замовлення підприємств України дослідних партій машин для внесення твердих мінеральних добрив МРД-5 та МРД-8.

За практичними рекомендаціями, які приведені у висновках дисертаційної роботи, наукових публікаціях і патентах на винаходи та корисні моделі автора роботи ТОВ «Укрсільгоспмаш» (м. Біла Церква) розроблено сімейство машин для розкидання мінеральних добрив РН-0,8, РН-1 та РП-2,1, які з 2015 року виробляються серійно.

Результати досліджень передані ТОВ «Оріхівсільмаш» для проведення модернізації машин для внесення мінеральних добрив, які воно виробляє.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані здобувачем самостійно, зокрема виконано аналіз шляхів підвищення продуктивності машин для внесення мінеральних добрив. З врахуванням рівня і тенденцій розвитку техніки та результатів досліджень вітчизняних і закордонних вчених він обґрунтував раціональний підхід до вирішення проблеми підвищення продуктивності машин для внесення мінеральних добрив за рахунок збільшення їх робочої ширини захвату шляхом спрямування переносної швидкості добрив, які сходять з тукорозсівного робочого органа, під кутом до горизонту. Обґрунтував конструкційну схему удосконаленого відцентрового розсівного робочого органа. Розробив математичні моделі, що описують закономірності розгону частинок мінеральних добрив відцентровим розсівним робочим органом, який має нахилену вісь обертання, з врахуванням параметрів та режимів його роботи, фізико-механічних властивостей мінеральних добрив та кожного з чотирьох секторів зазначеного робочого органа, в який може здійснюватись подача мінеральних добрив. На основі зазначених моделей отримано залежності для визначення поточного значення відносної швидкості руху добрив уздовж лопаток відцентрового розсівного робочого органа і її значення в момент сходження добрив. Проаналізував вплив параметрів і режимів роботи тукорозсівного робочого органа на значення відносної і абсолютної швидкостей сходження добрив із зазначеного робочого органа. Дослідив також їх вплив на дальність розсівання добрив. Основні результати теоретичних досліджень підтвердив експериментальним шляхом. Визначив

закономірності розподілу різних видів добрив за напрямком їх розсівання. Дослідив вплив параметрів тукорозсівного робочого органа на нерівномірність внесення добрив на робочій ширині захвату, за напрямком руху агрегата, а також на продуктивність машини. Здобувачем проведена перевірка машини, обладнаної удосконаленими відцентровими робочими органами, в умовах виробництва і зроблена техніко-економічна оцінка її використання.

Окрім того, здобувачем розроблена низка технічних рішень, спрямованих на створення нових технічних засобів для внесення мінеральних добрив та їх робочих органів, які захищені патентами України на винаходи.

Загальна частка участі в опублікованих у співавторстві працях становить більше 75%, а в охоронно-правових документах - більше 60%.

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень, що містяться в дисертації, доповідались і одержали позитивну оцінку на: Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК», 14-25 квітня 2016 р., ТДАТУ, м. Мелітополь; *Proceeding of 6th International conference on Trends in agricultural engineering*, 7th – 9th Sept., 2016, Prague, Czech Republic; XIX Міжнародній конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: Конструювання та дизайн», 20-22 березня 2019 р., НУБіП, м. Київ; XXVII Міжнародній науково-технічній конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» та XIX Всеукраїнській конференції-семінарі аспірантів, докторантів і здобувачів у галузі аграрної інженерії, 19-20 червня 2019 р., ННЦ «ІМЕСГ», смт. Глеваха; *Proceedings 19th International Scientific Conference «Engineering for rural development»*, May 20-22, 2020. Jelgava; VIII-й Міжнародній науковій конференції в рамках роботи XXXII Міжнародної агропромислової виставки «АГРО 2020», 11-14 серпня 2020 р., НУПіБ, м. Київ.

Універсальна машина для розсіювання та завантаження мінеральних добрив, хіммеліорантів і зерна, на яку отримано деклараційний патент на винахід № 63703, співавтором якого є дисертант, стала переможницею Всеукраїнського конкурсу «Винахід – 2007» у номінації «Кращий винахід у галузі агропромислового комплексу» (м. Київ, 2007). ННЦ «ІМЕСГ» за машину для внесення мінеральних добрив МРД–5, розроблену за результатами проведеного дисертантом дослідження, був нагороджений золотою медаллю XX Міжнародної виставки-ярмарку «Агро-2008» в номінації: За розробку та виробництво машин для розсіювання мінеральних добрив МРД-5 (м. Київ, 2008).

Публікації. Основні результати досліджень за темою дисертації викладені у 40 опублікованих працях, у тому числі в 17 фахових статтях, із них 11 одноосібно, 2 - у наукових закордонних виданнях, 6 – у матеріалах наукових конференцій та у 13 описах до патентів України на винаходи і корисні моделі.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку літератури із 148 найменувань та додатків. Зміст дисертації викладено на 231 сторінці, містить 67 рисунків та 6 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Сучасний стан механізації внесення твердих мінеральних добрив і задачі досліджень» проведено аналіз технологій і способів та технічних засобів для внесення мінеральних добрив. Встановлено, що в провідних країнах світу більшу частку обсягів застосовуваних твердих мінеральних добрив вносять на поверхню ґрунту перед його обробитком із застосуванням машин кузовного типу, які обладнані відцентровими тукорозсівними робочими органами (ТРО) кидального типу.

Проаналізовано результати досліджень процесу внесення мінеральних добрив на поверхню ґрунту. Питанню дослідження робочого процесу машин для внесення мінеральних добрив присвячені роботи Адамчука В.В., Василенка П.М., Вожика Ю.Г., Догановського М.Г., Докучаєва А.А., Кийслера М.А., Козловського Е.В., Назарова С.И., Черноволова В.А., Якімова Ю.И., Якубаускаса В.И. та інших вчених.

На основі проведеного аналізу відомих результатів теоретичних досліджень встановлено, що вони переважно присвячені визначенню дальності розсівання окремої частинки мінеральних добрив в умовах як вітру, так і безвітряної погоди.

Встановлено, що фізико-механічні властивості мінеральних добрив, які поставляє на вітчизняний ринок як українська, так і закордонна хімічна промисловість протягом останніх десятиліть залишаються незмінними. Тому можна прогнозувати, що найближчим десятиліттям фізико-механічні властивості мінеральних добрив, наприклад, розміри гранул та їх міцність, коефіцієнт тертя добрив по поверхні лопатки, які впливають на дальність їх розсівання, не зміняться. Виконання лопаток з включенням елементів, наприклад, полімерних, по поверхні яких добрива мають відносно малий коефіцієнт тертя, що буде сприяти підвищенню абсолютної швидкості сходження добрив з ТРО, вже використовується при створенні нової техніки; підвищення абсолютної швидкості сходження добрив з ТРО шляхом збільшення зовнішнього діаметра його диска практично не можливе, адже як зазначалось раніше, цей шлях вже вичерпаний і наступне збільшення діаметра диска обмежене конструктивно-компонувальними схемами машин; підвищення абсолютної швидкості сходження добрив з ТРО шляхом збільшення частота його обертання практично теж не можливе. Адже лопатки ТРО, захвачуючи добрива, здійснюють ударну дію, в результаті цього має місце руйнування їх гранул і утворення порошкоподібних фракцій. Необхідно мати на увазі, що за високих частот обертання ТРО утворюється значна маса пилоподібної фракції, яка кидальним способом розсівається на значно меншу відстань ніж гранули; збільшення кута між вектором абсолютної швидкості сходження добрив з ТРО та горизонтальною площиною у відомих ТРО з вертикальною віссю обертання шляхом збільшення кута установки лопаток до горизонтальної площини теж вже вичерпано; збільшення висоти установки ТРО над поверхнею ґрунту, по-перше: несуттєво впливає на збільшення робочої ширини захвату, а по-друге: висота установки ТРО обмежена положенням днища технологічної місткості.

Отже, одним із найбільш перспективних способів збільшення робочої ширини захвату машин для внесення добрив є застосування в їх конструктивних схемах ТРО з диском, нахиленим під кутом до горизонту (ТРОН).

У другому розділі «Теоретичне дослідження роботи відцентрового тукорозсівного робочого органа з нахиленою віссю обертання» проведені теоретичні дослідження розгону частинки добрива лопаткою ТРОН. Для цього з використанням рис.1 було записано рівняння результуючої сили, під дією якої частинка добрива рухається уздовж лопатки ТРОН.

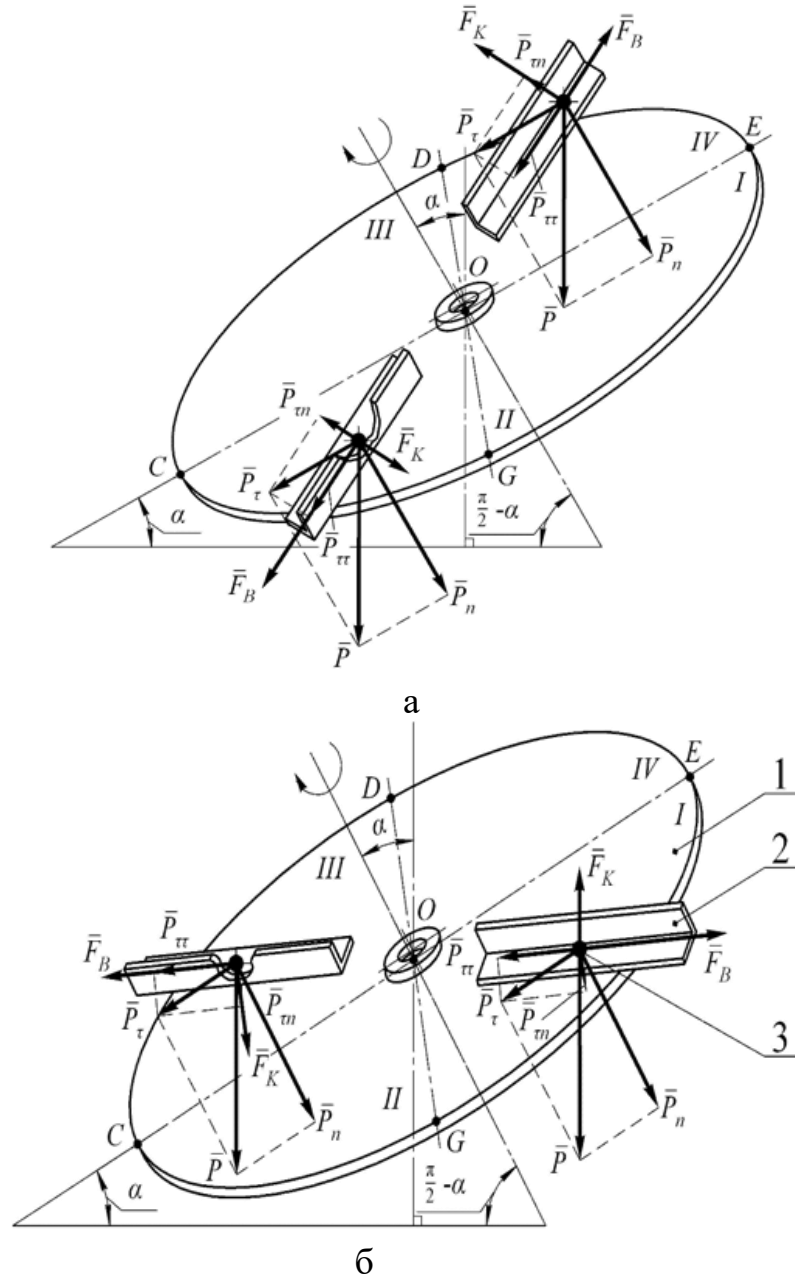


Рис. 1. Еквівалентна схема руху частинки добрив уздовж лопатки ТРОН, диск якого нахилений під кутом α до горизонтальної площини: а, б - відповідно частинка добрив, що рухається уздовж лопатки в межах секторів I, III і II, IV: 1 - диск; 2 - лопатка; 3 - частинка добрив; де F_r - результуюча сила, Н; f_f - коефіцієнт тертя частинки добрив M по поверхні лопатки; F_B - відцентрова сила, Н; $P_{\tau\tau}$ - проекція складової сили тяжіння частинки добрив P_τ на відрізок AB , Н; F_k - сила інерції Кориоліса, Н; P_n - складова сили тяжіння частинки добрив, яка діє по нормалі до днища лопатки, Н; $P_{\tau n}$ - проекція складової сили тяжіння частинки добрив P_τ на нормаль до відрізка AB , Н

Після підстановки значень складових і перетворень було отримано вирази (1, 3, 5, 7), які описують закономірності розгону частинки мінеральних добрив лопатками ТРОН з врахуванням параметрів та режимів його роботи, фізико-механічних властивостей мінеральних добрив та кожного з чотирьох секторів диска ТРОН, в який може здійснюватись подача мінеральних добрив. На основі зазначених моделей отримано залежності для визначення поточного значення відносної швидкості руху частинки добрив вздовж лопаток ТРОН і її значення в момент сходження добрив з лопаток (2, 4, 6, 8):

- в межах сектора I:

$$L = \left[-\frac{U \sin \gamma_o}{2\omega(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{U \lambda_2 \cos \gamma_o}{2\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{K \lambda_2}{\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] e^{\lambda_1 t} +$$

$$+ \left[\frac{U \sin \gamma_o}{2\omega(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{U \lambda_1 \cos \gamma_o}{2\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{K \lambda_1}{\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] e^{\lambda_2 t} +$$

$$+ \frac{U}{2\omega^2} \cos(\gamma_o + \omega t) - \frac{K}{\omega^2}. \quad (1)$$

$$V_{BC} = \frac{dL}{dt} = \left[-\frac{U \sin \gamma_o}{2\omega(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{U \lambda_2 \cos \gamma_o}{2\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{K \lambda_2}{\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] \lambda_1 e^{\lambda_1 t} +$$

$$+ \left[\frac{U \sin \gamma_o}{2\omega(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{U \lambda_1 \sin \gamma_o}{2\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{K \lambda_1}{\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] \lambda_2 e^{\lambda_2 t} -$$

$$- \frac{U}{2\omega} \sin(\gamma_o + \omega t). \quad (2)$$

- в межах сектора II:

$$L = \left[-\frac{U \cos \gamma_o}{2\omega(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{U \lambda_2 \sin \gamma_o}{2\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{K \lambda_2}{\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] e^{\lambda_1 t} +$$

$$+ \left[\frac{U \cos \gamma_o}{2\omega(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{U \lambda_1 \sin \gamma_o}{2\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{K \lambda_1}{\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] e^{\lambda_2 t} -$$

$$- \frac{U \sin(\gamma_o + \omega t)}{2\omega^2} - \frac{K}{\omega^2}. \quad (3)$$

$$V_{BC} = \frac{dL}{dt} = \left[-\frac{U \cos \gamma_o}{2\omega(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{U \lambda_2 \sin \gamma_o}{2\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{K \lambda_2}{\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] \lambda_1 e^{\lambda_1 t} +$$

$$+ \left[\frac{U \cos \gamma_o}{2\omega(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{U \lambda_1 \sin \gamma_o}{2\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{K \lambda_1}{\omega^2(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] \lambda_2 e^{\lambda_2 t} -$$

$$- \frac{U}{2\omega} \cos(\gamma_o + \omega t). \quad (4)$$

- в межах сектора III:

$$\begin{aligned}
L = \bar{L} + L^* = & \left[-\frac{f_f U \lambda_2 \sin \gamma_o}{\omega^2 (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{(1 - f_f^2) U \lambda_2 \cos \gamma_o}{2\omega^2 (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} + \right. \\
& + \frac{K \lambda_2}{\omega^2 (\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{f_f U \cos \gamma_o}{\omega (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} + \left. \frac{(1 - f_f^2) U \sin \gamma_o}{2\omega (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} \right] e^{\lambda_1 t} + \\
& + \left[-\frac{f_f U \cos \gamma_o}{\omega (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{(1 - f_f^2) U \sin \gamma_o}{2\omega (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{f_f U \lambda_1 \sin \gamma_o}{\omega^2 (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} - \right. \\
& - \left. \frac{(1 - f_f^2) U \lambda_1 \cos \gamma_o}{2\omega^2 (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{K \lambda_1}{\omega^2 (\lambda_2 - \lambda_1)} \right] e^{\lambda_2 t} + \frac{f_f U}{\omega^2 (1 + f_f^2)} \sin(\gamma_o + \omega t) - \\
& - \frac{(1 - f_f^2) U}{2\omega^2 (1 + f_f^2)} \cos(\gamma_o + \omega t) - \frac{K}{\omega^2}.
\end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
V_{BC} = \frac{dL}{dt} = & \left[-\frac{f_f U \lambda_2 \sin \gamma_o}{\omega^2 (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{(1 - f_f^2) U \lambda_2 \cos \gamma_o}{2\omega^2 (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} + \right. \\
& + \frac{K \lambda_2}{\omega^2 (\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{f_f U \cos \gamma_o}{\omega (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} + \left. \frac{(1 - f_f^2) U \sin \gamma_o}{2\omega (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} \right] \lambda_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + \\
& + \left[-\frac{f_f U \cos \gamma_o}{\omega (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{(1 - f_f^2) U \sin \gamma_o}{2\omega (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{f_f U \lambda_1 \sin \gamma_o}{\omega^2 (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} - \right. \\
& - \left. \frac{(1 - f_f^2) U \lambda_1 \cos \gamma_o}{2\omega^2 (1 + f_f^2) (\lambda_2 - \lambda_1)} - \frac{K \lambda_1}{\omega^2 (\lambda_2 - \lambda_1)} \right] \lambda_2 \cdot e^{\lambda_2 t} + \frac{f_f U}{\omega (1 + f_f^2)} \cos(\gamma_o + \omega t) + \\
& + \frac{(1 - f_f^2) U}{2\omega (1 + f_f^2)} \sin(\gamma_o + \omega t).
\end{aligned} \tag{6}$$

- в межах сектора IV:

$$\begin{aligned}
 L(t) = & \left[-\frac{(1-f_f^2)U\lambda_2 \sin \gamma_o}{2\omega^2(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} - \frac{f_f U \lambda_2 \cos \gamma_o}{\omega^2(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} + \right. \\
 & \left. + \frac{K\lambda_2}{\omega^2(\lambda_2-\lambda_1)} + \frac{(1-f_f^2)U \cos \gamma_o}{2\omega(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} - \frac{f_f U \sin \gamma_o}{\omega(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} \right] e^{\lambda_1 t} + \\
 & + \left[-\frac{(1-f_f^2)U \cos \gamma_o}{2\omega(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} + \frac{f_f U \sin \gamma_o}{\omega(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} + \right. \\
 & \left. + \frac{(1-f_f^2)U\lambda_1 \sin \gamma_o}{2\omega^2(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} + \frac{f_f U \lambda_1 \cos \gamma_o}{\omega^2(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} - \frac{K\lambda_1}{\omega^2(\lambda_2-\lambda_1)} \right] e^{\lambda_2 t} + \\
 & + \frac{(1-f_f^2)U}{2\omega^2(1+f_f^2)} \sin(\gamma_o + \omega t) + \frac{f_f U}{\omega^2(1+f_f^2)} \cos(\gamma_o + \omega t) - \frac{K}{\omega^2}.
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 V_{BC} = \frac{dL}{dt} = & \left[-\frac{(1-f_f^2)U\lambda_2 \sin \gamma_o}{2\omega^2(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} - \frac{f_f U \lambda_2 \cos \gamma_o}{\omega^2(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} + \right. \\
 & \left. + \frac{K\lambda_2}{\omega^2(\lambda_2-\lambda_1)} + \frac{(1-f_f^2)U \cos \gamma_o}{2\omega(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} - \frac{f_f U \sin \gamma_o}{\omega(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} \right] \lambda_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + \\
 & + \left[-\frac{(1-f_f^2)U \cos \gamma_o}{2\omega(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} + \frac{f_f U \sin \gamma_o}{\omega(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} + \right. \\
 & \left. + \frac{(1-f_f^2)U\lambda_1 \sin \gamma_o}{2\omega^2(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} + \frac{f_f U \lambda_1 \cos \gamma_o}{\omega^2(1+f_f^2)(\lambda_2-\lambda_1)} - \frac{K\lambda_1}{\omega^2(\lambda_2-\lambda_1)} \right] \lambda_2 \cdot e^{\lambda_2 t} + \\
 & + \frac{(1-f_f^2)U}{2\omega(1+f_f^2)} \cos(\gamma_o + \omega t) - \frac{f_f U}{\omega(1+f_f^2)} \sin(\gamma_o + \omega t).
 \end{aligned} \tag{8}$$

З використанням отриманих виразів за допомогою ПК встановлено, що однаково відстань уздовж лопатки ТРОН частинки мінеральних добрив за зміни кутової швидкості диска в межах 30-120 с⁻¹ (рис. 2) та коефіцієнта їх зовнішнього тертя – в межах 0,1-0,7 (рис. 3) долають за різний час. Причому зазначений час зменшується за збільшення кутової швидкості диска та зменшення коефіцієнта зовнішнього тертя мінеральних добрив.

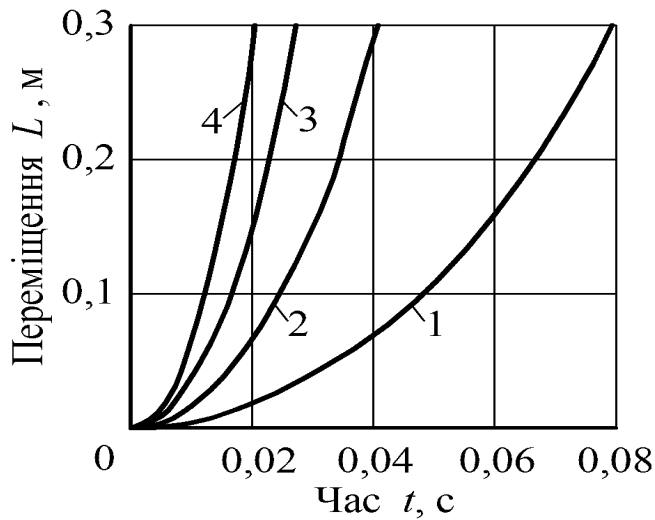


Рис. 2. Залежність переміщення L частинки добрив по лопатці ТРОН від часу t та кутової швидкості ω його диска за $f_f = 0,3$, $\alpha = 30^\circ$ та $r_0 = 0,1$ м: 1, 2, 3, 4 – кутова швидкість ω відповідно 30 с^{-1} , 60 , 90 , 120 с^{-1}

Найбільший вплив на відносну швидкість сходження добрив з лопатки ТРОН мають кутова швидкість диска та радіус подачі (рис. 4). За коефіцієнта зовнішнього тертя добрив $0,3$, радіуса

подачі $0,1$ м, кута нахилу диска до горизонтальної площини 30° та кутової швидкості диска 30 с^{-1} , 60 , 90 і 120 с^{-1} відносна швидкість сходження частинки добрив з лопатки ТРОН відповідно становить $9,0$ м/с, $17,5$, $26,5$ та $35,0$ м/с. В той же час за кутової швидкості диска 90 с^{-1} та за названих параметрів ТРОН і радіуса подачі добрив $0,1$ м, $0,2$ та $0,3$ м відносна швидкість сходження добрив з лопатки ТРОН відповідно становить $26,5$ м/с, $25,0$ та $20,0$ м/с. Рациональні значення радіуса подачі добрив не перевищують $0,5$ радіуса ТРОН.

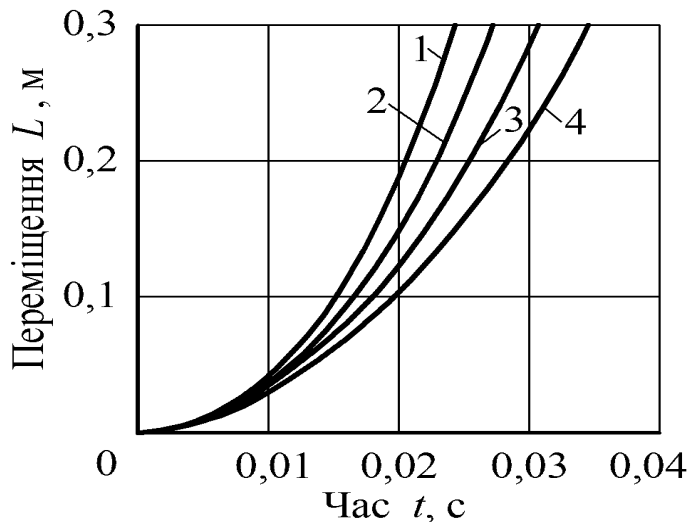


Рис. 3. Залежність переміщення L частинки добрив по лопатці ТРОН від часу t та коефіцієнта f_f її зовнішнього тертя за $\omega = 90 \text{ с}^{-1}$, $\alpha = 30^\circ$ та $r_0 = 0,1$ м: 1, 2, 3, 4 – коефіцієнт f_f зовнішнього тертя частинки мінеральних добрив відповідно $0,1$, $0,3$, $0,5$, $0,7$

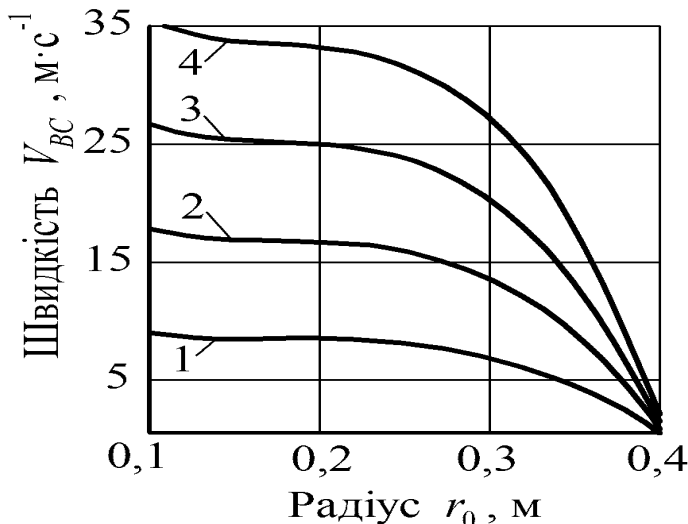


Рис. 4. Залежність відносної швидкості V_{BC} частинки добрив в момент її сходження з лопатки ТРОН від радіуса r_0 подачі та кутової швидкості ω диска ТРОН за $f_f = 0,3$ та $\alpha = 30^\circ$: 1, 2, 3, 4 – кутова швидкість ω диска ТРОН відповідно 30 с^{-1} , 60 , 90 , 120 с^{-1}

Зміна кута нахилу диска ТРОН до горизонтальної площини в досліджуваних межах (0° – 40°) не впливає як на час розгону частинок добрив ТРОН, так і на значення відносної (рис. 5) і абсолютної швидкостей сходження частинки добрив з лопатки, а тільки призводить до зміни кута між вектором абсолютної швидкості сходження частинки добрив з ТРОН і горизонтальною площиною.

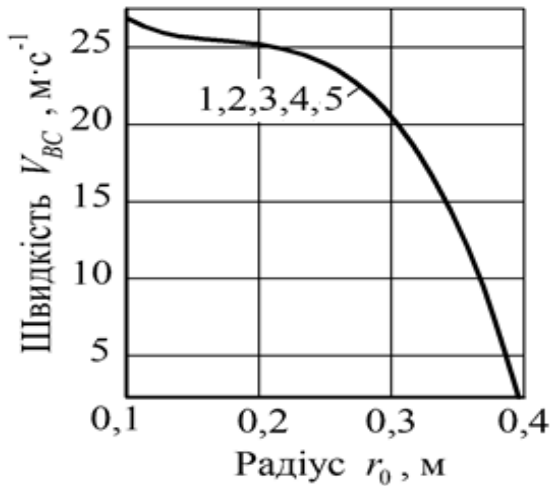


Рис. 5. Залежності відносної швидкості V_{BC} частинки добрив в момент її сходження з лопатки ТРОН від радіуса r_0 подачі та кута α нахилу диска до горизонтальної площини за $f_f = 0,3$ та $\omega = 90 \text{ с}^{-1}$: 1, 2, 3, 4, 5 – кут α нахилу диска ТРОН до горизонтальної площини відповідно $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$

Відносна швидкість сходження частинки мінеральних добрив з лопатки ТРОН не залежить від номера сектора, в якому здійснюється його живлення, і збільшується за зростання кутової швидкості диска та зменшення як радіуса подачі, так і зменшення коефіцієнта зовнішнього тертя добрив.

Подачу добрив на ТРОН доцільно здійснювати в другому секторі його диска (рис. 6).

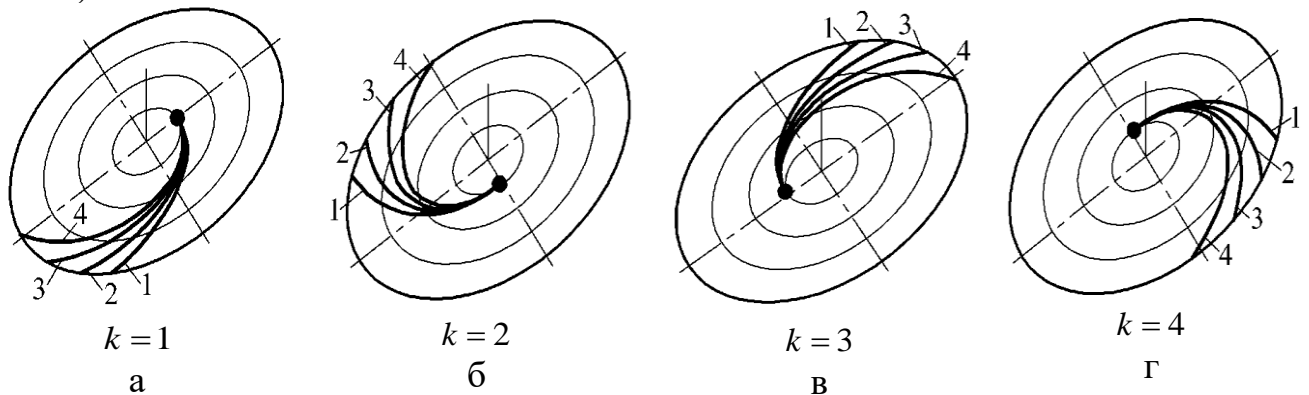


Рис. 6. Абсолютні траєкторії руху частинки добрив по лопатці ТРОН до її сходження в залежності від сектора подачі та коефіцієнта зовнішнього тертя частинки добрив: а, б, в, г - сектор подачі частинки добрив відповідно 1, 2, 3, 4; 1, 2, 3, 4 - коефіцієнт зовнішнього тертя частинки мінеральних добрив відповідно 0,1; 0,3; 0,5; 0,7

Кут розгону добрив ТРОН не залежить від кутової швидкості диска та номера сектора, в межах якого здійснюється подача добрив на нього, але зменшується за збільшення радіуса подачі добрив на ТРОН та зростає за збільшення коефіцієнта зовнішнього тертя мінеральних добрив.

В машинах для внесення мінеральних добрив, які обладнані ТРОН, при необхідності зміни частоти обертання його диска немає необхідності корегувати місцезнаходження зони живлення ТРОН, але при переході на внесення іншого виду мінерального добрива, коефіцієнт зовнішнього тертя якого відрізняється від

коефіцієнта зовнішнього тертя мінерального добрива, яке вносили до цього, таке регулювання є обов'язковим.

Раціональні значення кута нахилу диска ТРОН до горизонтальної площини знаходяться у межах 20° - 30° .

У **третьому розділі** «Програма та методика експериментальних досліджень» викладено програму експериментальних досліджень, описана конструкція експериментальної установки, яка була спроектована і виготовлена (рис. 7). Особливістю її конструкції було те, що конічний редуктор був закріплений на рамі через кронштейни 11 і 12, які мали пази для кріплення, що забезпечували можливість регулювання кута нахилу вихідного вала редуктора до горизонтальної площини. На вихідному валу конічного редуктора був установлений ТРОН 9, який включав плоский диск, на верхній його поверхні радіально були закріплені чотири жолобчасті лопатки. Зовнішні кінці лопаток виступали за межі диска. На основній рамі 14 з можливістю поздовжнього регульованого переміщення була установлена рухома рама 3. Конструкція привода ТРОН передбачала можливість як зміни частоти обертання його диска, так і можливість регулювання кута нахилу диска до горизонтальної площини та радіуса подачі добрив на диск ТРОН.

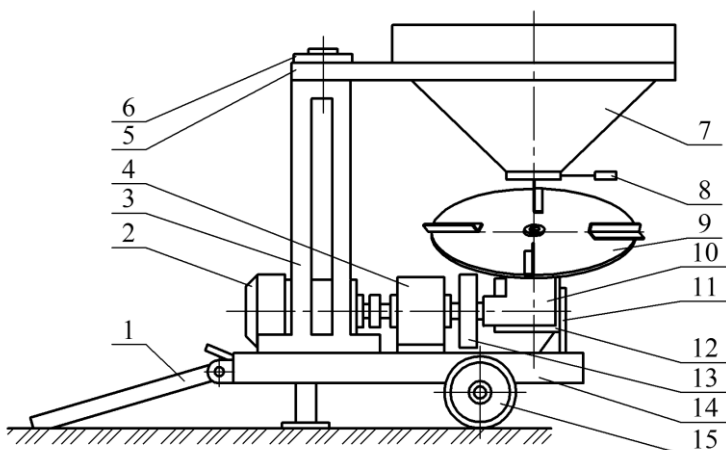


Рис. 7. Схема експериментальної установки: 1 – рукоять; 2 – електродвигун; 3, 5 – відповідно рухома та поворотна рами; 4 – ланцюговий варіатор; 6 – шарнір повороту рами; 7 – бункер; 8 – заслінка; 9 – ТРОН; 10 – конічний редуктор; 11, 12 – кронштейни; 13 – обгінна муфта; 14 – основна рама; 15 – опорне колесо

З використанням зазначеної установки проводили експериментальні дослідження з вивчення закономірностей розподілу добрив у стандартні дека за напрямком їх розсівання, а також визначення дальності розсівання мінеральних добрив в залежності від їх фізико-механічних властивостей, параметрів та режимів роботи ТРОН. Основними факторами при експериментальних дослідженнях приймали наступні режими роботи установки: частота обертання диска ТРОН – 600 об/хв, 800 та 1000 об/хв; кут нахилу диска до горизонтальної площини - 0° , 10° , 20° , 30° , 40° , 50° .

Для проведення лабораторно-польових досліджень, в процесі яких визначали показники якості внесення мінеральних добрив, діапазони зміни доз їх внесення та робочої ширини захвату, використовували серійну машину для внесення мінеральних добрив, яка була обладнана двома дослідними зразками ТРОН (рис. 8).



Рис. 8. Загальний вигляд: а, б - відповідно машини для внесення мінеральних добрив, обладнаної двома ТРОН, та 2-х ТРОН

В процесі досліджень використовували основні положення ГОСТ 20315–75 «Сельскохозяйственная техника. Методика определения условий испытаний», ГОСТ 28714–2007 «Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний».

При проведенні досліджень використовувалися найбільш поширені в сільському господарстві добрива: суперфосфат гранульований; нітроамофоску та селітру аміачну.

Одержані в результаті експериментальних досліджень дані оброблялися за стандартними методиками статистичної обробки з отриманням регресивних моделей.

У **четвертому розділі** «Результати експериментальних досліджень» представлено результати досліджень процесу розсівання мінеральних добрив ТРОН.

В результаті експериментальних досліджень підтверджено, що за зміни частоти обертання диска від 600 до 1000 об/хв та зміни кута установки диска до горизонтальної площини від 0° до 30° , ТРОН надійно забезпечує виконання технологічного процесу внесення мінеральних добрив. Раціональні значення частоти обертання диска, які були обґрунтовані вченими в попередні роки для ТРО з вертикальною віссю обертання, виходячи з міцності гранул різних видів мінеральних добрив, доцільно використовувати і при застосуванні ТРОН, а саме: на внесенні суперфосфату гранульованого – 1000 об/хв, а на внесенні азотних та комплексних видів добрив – 800 об/хв.

Збільшення як частоти обертання диска ТРОН від 600 до 1000 об/хв, так і кута його нахилу до горизонтальної площини від 0° до 30° призводить до: суттєвого зміщення всієї маси висіяних добрив від ТРОН за напрямком їх розсівання; зростання ефективної дальності розсівання мінеральних добрив та відстані від ТРОН до дека, в яке висіялась максимальна частка маси добрив; відносного зменшення максимальної частки маси добрив, висіяних в деко.

За всіх досліджуваних кінематичних режимів роботи ТРОН ефективна дальність розсівання мінеральних добрив та відстань від ТРОН до дека з максимальною часткою маси висіяного добрива найбільш стрімко зростає за

збільшення кута нахилу диска ТРОН до горизонтальної площини від 0° до 10° , а менше - за зміни значеного кута в межах $20^\circ - 30^\circ$.

Збільшення кута нахилу диска ТРОН до горизонтальної площини від 0° до 30° за частоти обертання диска 1000 об/хв призводить до збільшення: ефективної дальності розсівання суперфосфату гранульованого на 34,9 % (рис. 9), відстані від ТРОН до дека з максимальною часткою маси висіяного добрива - на 45,0 % та зменшення зазначеної частки маси добрива у 1,23 раза.

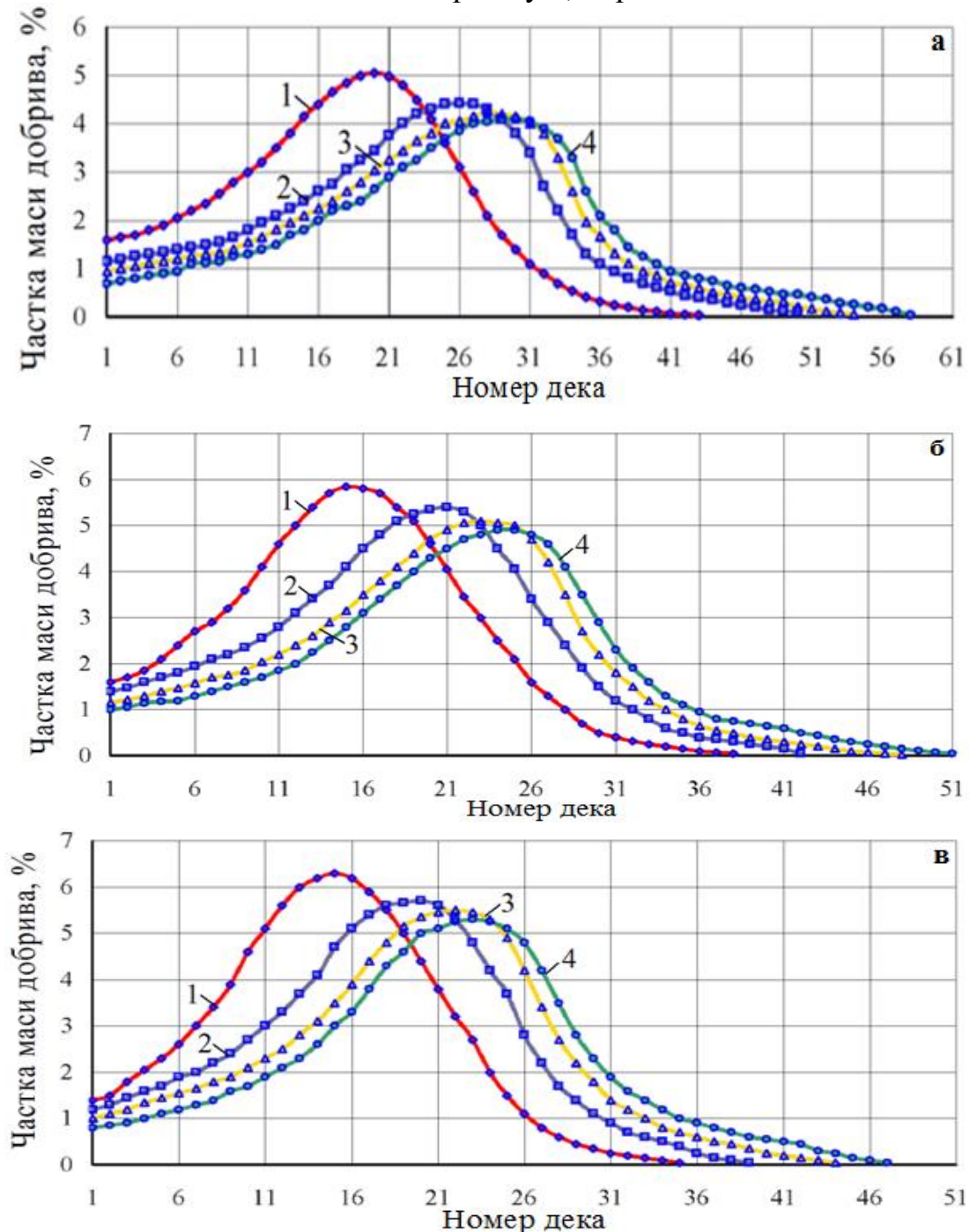


Рис. 9. Залежність розподілу мінеральних добрив ТРОН за напрямком їх розсівання по деках від кута нахилу його диска до горизонтальної площини: а, б, в – відповідно суперфосфат гранульований за частоти обертання диска 1000 об/хв, нітроамофоска та селітра аміачна за частоти обертання диска 800 об/хв: 1, 2, 3, 4 – кут нахилу диска до горизонтальної площини відповідно 0° , 10° , 20° , 30°

Збільшення кута нахилу диска ТРОН до горизонтальної площини від 0° до 30° за частоти обертання диска 800 об/хв призводить до зростання: ефективної дальності розсівання нітроамофоски на 34,2 %, відстані від ТРОН до деки з максимальною часткою маси висіяного добрива – на 66,7 % та зменшення зазначеної частки маси нітроамофоски у 1,19 раза, а при розсіванні селітри аміачної має місце збільшення ефективної дальності розсівання на 34,3 %, відстані від ТРОН до деки з максимальною часткою маси висіяного добрива на 53,3 % та зменшення зазначеної частки маси добрива у 1,19 раза.

Рівняння регресії, які описують характер розподілу мінеральних добрив за напрямком їх розсівання ТРОН, мають вигляд для:

- суперфосфату гранульованого:

$$y = 18,2533 + 0,0992n - 0,3063\alpha - 0,000092n^2 + 0,0037\alpha^2 + 0,00011n\alpha; \quad (9)$$

- нітроамофоски:

$$y = 80,46 - 0,0312n - 0,3825\alpha - 0,000037n^2 + 0,0018\alpha^2 + 0,00046n\alpha; \quad (10)$$

- селітри аміачної:

$$y = -101,4 - 0,0574n + 4,6034\alpha - 0,0256\alpha^2. \quad (11)$$

Із аналізу отриманих рівнянь регресії нескладно зробити висновок, що найбільш вагомий вплив на коефіцієнт варіації розподілу мінеральних добрив експериментальною установкою за напрямком їх розсівання має частота обертання диска ТРОН. Однак отримані результати можуть слугувати тільки для аналізу та попереднього вибору раціональних параметрів і режимів роботи ТРОН, адже вони не враховують віялоподібних характер розподілу добрив машиною.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що зі збільшенням кута нахилу диска до горизонтальної площини від 0° до 40° зростає дальність розсівання гранул селітри аміачної (рис. 10, криві 1, 3, 5, 7, 9). При подальшому збільшенні кута нахилу диска ТРОН до горизонтальної площини дальність польоту частинок добрива плавно зменшується.

Подібні закономірності мають місце і для інших видів мінеральних добрив.

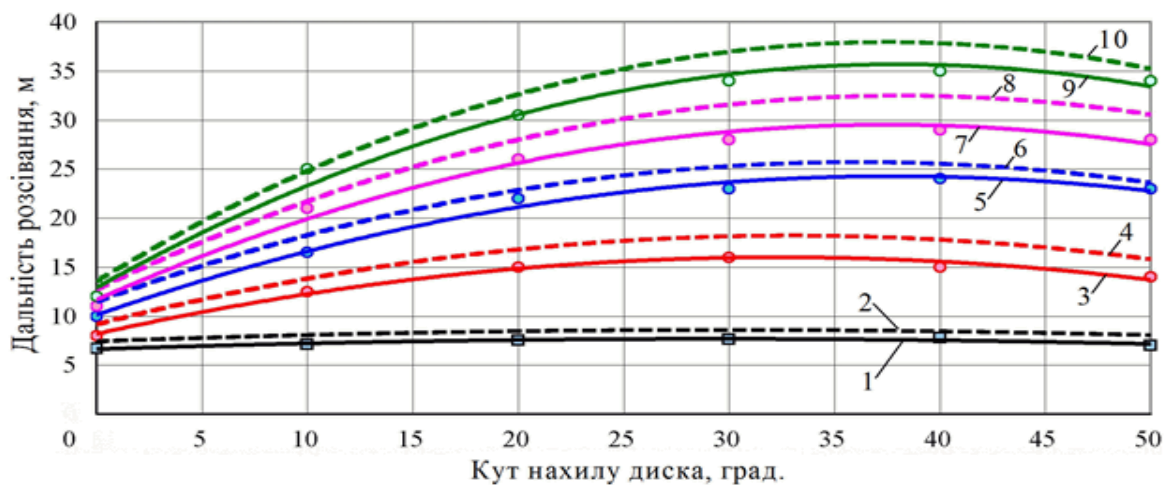


Рис. 10. Залежність дальності розсівання гранул селітри аміачної ТРОН від кута нахилу його диска до горизонтальної площини: 1, 3, 5, 7, 9 – експериментальні, діаметр частинок добрива відповідно 1 мм, 2, 3, 4, 5 мм; 2, 4, 6, 8, 10 – теоретичні, діаметр частинок добрива відповідно 1 мм, 2, 3, 4, 5 мм

Встановлено, що результати теоретичних досліджень щодо визначення відносної швидкості, а, відповідно, і абсолютної швидкості сходження гранул добрив з ТРОН, визначені за отриманими дисертантом залежностями і використанні для визначення теоретичної дальності розсівання селітри аміачної за відомою методикою, є адекватними результатам, які отримано експериментально.

Машина, обладнана ТРОН, забезпечує внесення гранульованих добрив з робочою шириною захвату 39 м (рис. 11), при цьому нерівномірність їх внесення на робочій ширині захвату не перевищує $\pm 20\%$, а за напрямком руху агрегата - $\pm 10\%$, що задовольняє агротехнічні вимоги на машини для внесення мінеральних добрив.

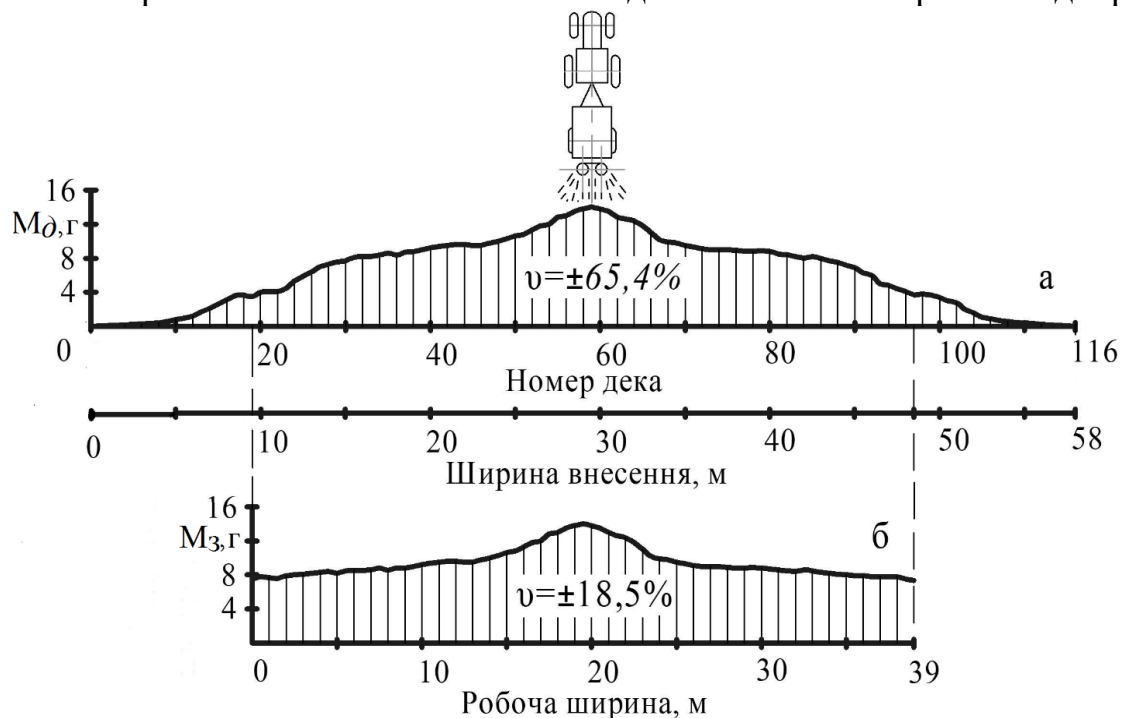


Рис. 11. Розподіл маси суперфосфату гранульованого: а, б – відповідно на ширині внесення (M_d) та на робочій ширині (M_z)

Кращі показники внесення мінеральних добрив як за робочою шириною захвату, так і за нерівномірністю їх внесення забезпечуються за кута нахилу диска

ТРОН до горизонтальної площини в межах $20^\circ - 30^\circ$ (рис. 12).

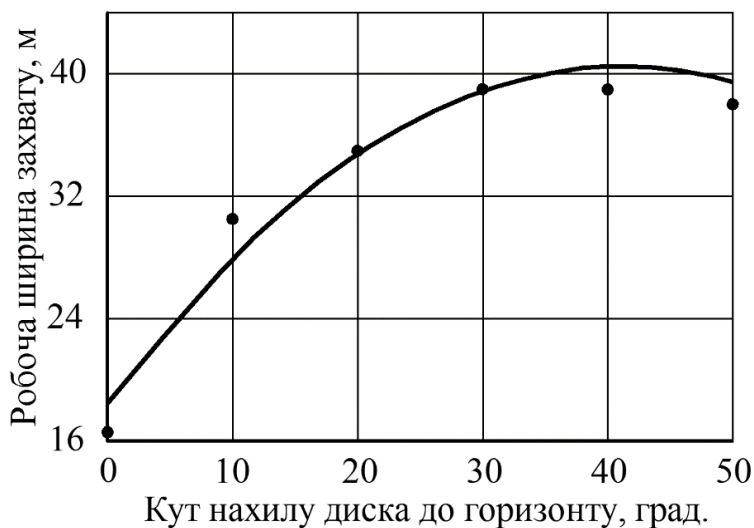


Рис. 12. Залежність робочої ширини захвату машини, обладнаної двома ТРОН, від кута нахилу дисків до горизонтальної площини на внесенні суперфосфату гранульованого

Залежність робочої ширини захвату B машини для внесення мінеральних добрив від кута нахилу дисків ТРОН до

горизонтальної площини α найкраще апроксимується рівнянням поліному другої степені, яке має такий вигляд:

$$B = -0,0204 \alpha^2 + 1,3493 \alpha + 17,229. \quad (12)$$

У п'ятому розділі «Виробнича перевірка та економічна оцінка застосування розробки» наведенні результати виробничої перевірки машини для внесення мінеральних добрив МРД-8, обладнаної двома ТРОН, та розрахунку показників економічної ефективності розробки.

Виробнича перевірка проводилась в умовах Державного підприємства «Дослідне господарство «Оленівське» Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» (с. Оленівка Фастівського району Київської області) на операції внесення мінеральних добрив на поверхню ґрунту перед його обробіткою (рис. 13). Результати виробничої перевірки підтверджують стабільність і ефективність виконання технологічного процесу внесення мінеральних добрив машиною, яка обладнана дослідними ТРОН. При цьому машина забезпечувала за робочої швидкості 12 км/год: робочу ширину захвату - 39 м, нерівномірність внесення добрив на робочій ширині захвату – $\pm 18,4\%$ та $\pm 19,2\%$, за напрямком руху агрегата – $\pm 8,9\%$ та $\pm 9,6\%$, відхилення дози внесення добрив від установленної – $7,2\%$ та $8,9\%$.



Рис. 13. Загальний вигляд машини МРД-8, обладнаної двома ТРОН, під час виробничої перевірки

Аналіз результатів виробничої перевірки машини для внесення мінеральних добрив, яка обладнана двома ТРОН, підтверджує стабільність і ефективність виконання технологічного процесу внесення гранульованих мінеральних добрив. При цьому було досягнуто: збільшення робочої ширини захвату у 1,95 рази; зменшення сумарних прямих експлуатаційних витрат на 33,22 грн/га; зменшення приведених експлуатаційних витрат на 41,04 грн/га. Річний економічний ефект від використання машини для внесення мінеральних, обладнаної ТРОН, становить 150764,54 грн.

Отримані дисертантом результати досліджень були використані при створенні технічних рішень, реалізованих у нових технічних засобах для внесення мінеральних добрив, які захищені сімома патентами України на винаходи №№ 74911, 76226, 76327, 76362, 76501, 77024, 77522. Окрім того, на одне технічне

рішення отримано деклараційний патент на корисну модель № 12794, а на інші два технічні рішення отримано деклараційні патенти на винаходи №№ 62160, 63703.

Результати науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт дисертанта використані Дослідним конструкторсько-технологічним бюро Інституту механізації та електрифікації сільського господарства при розробленні і виготовленні на замовлення підприємств України дослідних партій машин для внесення твердих мінеральних добрив МРД–5 і МРД–8. ТОВ «Укрсільгоспмаш» (м. Біла Церква Київської області) з використанням результатів досліджень дисертанта створило сімейство машин для розкидання мінеральних добрив РН–0,8, РН–1 та РП–2,1, які з 2015 року виробляє серійно. Окрім того, результати досліджень передані ТОВ «Оріхівсільмаш» (м. Оріхів Запорізької області) для проведення модернізації машин для внесення добрив, які воно виробляє серійно.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена проблема підвищення продуктивності машин для внесення мінеральних добрив шляхом збільшення їх робочої ширини захвату.

1. У провідних країнах світу більшу частку обсягів застосовуваних твердих мінеральних добрив вносять на поверхню ґрунту перед його обробіткою із застосуванням машин, які обладнані відцентровими тукорозсівними робочими органами кидального типу. В конструкції відомих машин вже вичерпані можливості збільшення їх продуктивності шляхом підвищення робочої ширини захвату за рахунок збільшення швидкості сходження добрив з тукорозсівних робочих органів або кута між вектором відносної швидкості і горизонтальною площиною, або застосуванням полімерних матеріалів при виготовленні елементів тукорозсівних робочих органів тощо.

2. У відомих відцентрових тукорозсівних робочих органах з вертикальною віссю обертання збільшення кута сходження добрив до горизонтальної площини формується тільки за рахунок підвищення відносної швидкості, тобто швидкості, з якою добрива рухаються вздовж лопатки. В той же час ліву частку абсолютної швидкості сходження добрив з тукорозсівних робочих органів становить переносна швидкість у порівнянні з їх відсною швидкістю. В зв'язку з цим доцільним є спрямування переносної швидкості під кутом до горизонтальної площини шляхом установки осі тукорозсівного робочого органа з нахилом до вертикалі (ТРОН).

3. Розроблено математичні моделі (1), (3), (5) та (7), які описують закономірності розгону частинок мінеральних добрив лопатками ТРОН з врахуванням параметрів та режимів його роботи, фізико-механічних властивостей мінеральних добрив та кожного з чотирьох секторів ТРОН, в який може здійснюватись подача мінеральних добрив на його диск. На основі зазначених моделей отримано залежності для визначення поточного значення відносної швидкості руху добрив вздовж лопаток ТРОН і її значення в момент сходження добрив з лопаток (2), (4), (6) та (8).

4. З використанням отриманих залежностей встановлено, що однакову відстань уздовж лопатки диска ТРОН частинки мінеральних добрив за зміни кутової швидкості диска в межах $30 - 120 \text{ с}^{-1}$ та коефіцієнта зовнішнього тертя добрив – в

межах 0,1 – 0,7 долають за різний час. Причому зазначений час зменшується за збільшення кутової швидкості диска та зменшення коефіцієнта зовнішнього тертя мінеральних добрив.

5. Найбільший вплив на відносну швидкість сходження добрив з ТРОН має кутова швидкість диска та радіус подачі добрив. За коефіцієнта зовнішнього тертя добрив 0,3, радіуса подачі добрив 0,1 м, кута нахилу диска до горизонтальної площини 30° та кутової швидкості диска 30 с^{-1} , 60, 90 та 120 с^{-1} відносна швидкість сходження добрив з ТРОН відповідно становить 9,0 м/с, 17,5, 25,5 та 35,0 м/с. В той же час за кутової швидкості диска 90 с^{-1} та за названих параметрів ТРОН і радіуса подачі добрив на диск 0,1 м, 0,2 та 0,3 м відносна швидкість сходження добрив з ТРОН відповідно становить 26,5 м/с, 25,0 та 20,0 м/с. Раціональні значення радіуса подачі добрив не перевищують 0,5 радіуса ТРОН.

6. Зміна кута нахилу диска ТРОН до горизонтальної площини в межах 0° – 40° не впливає на: час розгону частинок добрив ТРОН, значення відносної і абсолютної швидкостей сходження добрив з лопаток, а тільки призводить до зміни кута між вектором абсолютної швидкості сходження добрив з ТРОН і горизонтальною площиною.

7. Кут розгону добрив ТРОН не залежить від кутової швидкості диска та номера сектора, в межах якого здійснюється подача добрив на нього, але зменшується за збільшення радіуса подачі добрив на ТРОН та зростає за збільшення коефіцієнта зовнішнього тертя мінеральних добрив.

8. Раціональні значення частоти обертання диска ТРОН, обґрунтовані вченими в попередні роки для тукорозсівних робочих органів з вертикальною віссю обертання, виходячи з міцності гранул різних видів мінеральних добрив, доцільно використовувати і при застосуванні ТРОН, а саме: на внесенні суперфосфату гранульованого – 1000 об/хв, а на внесенні азотних та комплексних видів добрив – 800 об/хв.

9. Збільшення як частоти обертання диска ТРОН від 600 до 1000 об/хв, так і кута його нахилу до горизонтальної площини від 0° до 30° призводить до: суттєвого зміщення всієї маси висіяних добрив від ТРОН за напрямком їх розсівання; збільшення ефективної дальності розсівання мінеральних добрив; збільшення відстані від ТРОН до дека, в яке висіялась максимальна частка маси добрив; відносного зменшення максимальної частки маси добрив, висіяних в деко. За всіх досліджуваних кінематичних режимів роботи ТРОН ефективна дальність розсівання мінеральних добрив та відстань від ТРОН до дека з максимальною часткою маси висіяного добрива найбільш стрімко зростають при збільшенні кута нахилу диска ТРОН до горизонтальної площини від 0° до 10° . За наступного збільшення зазначеного кута відносна інтенсивність зростання ефективної дальності розсівання мінеральних добрив та відстані від ТРОН до дека з максимальною часткою маси висіяного добрива поступово зменшується.

10. Збільшення кута нахилу диска ТРОН до горизонтальної площини від 0° до 30° за частоти обертання диска: 1000 об/хв – призводило до зростання: ефективної дальності розсівання суперфосфату гранульованого на 34,9 %, відстані від ТРОН до дека з максимальною часткою маси висіяного добрива на 45,0 %; 800 об/хв – призводило до збільшення: ефективної дальності розсівання нітроамофоски на

34,2 %, відстані від ТРОН до дека з максимальною часткою маси висіяного добрива на 66,7 % та збільшення ефективної дальності розсівання селітри аміачної на 34,3 %, відстані від ТРОН до дека з максимальною часткою маси висіяного добрива на 53,3 %.

11. Кращі показники внесення добрив як за робочою шириною захвату, так за нерівномірністю внесення добрив забезпечуються за кута нахилу диска ТРОН до горизонтальної площини в межах 20° – 30°.

12. Машина, обладнана ТРОН, забезпечила внесення гранульованих добрив з робочою шириною захвату до 39 м, при цьому нерівномірність їх внесення на робочій ширині захвату не перевищувала ± 20 %, а за напрямом руху агрегата - $\pm 10\%$, що задовольняє агротехнічні вимоги на машини для внесення мінеральних добрив. Збільшення робочої ширини захвату було досягнуто у 1,95 раза; зменшення сумарних прямих експлуатаційних витрат на 33,22 грн/га та приведених експлуатаційних витрат - на 41,04 грн/га. Річний економічний ефект від використання машини для внесення мінеральних добрив, обладнаної ТРОН, становить 150764,54 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Адамчук О.В. Машина з пневматичною висівною системою для внесення туків. *Механізація сільськогосподарського виробництва*: зб. наук. пр. Нац. аграрн. у-ту. К., 2002. Т. XI. С. 285 – 288.

2. Адамчук О.В. Обґрунтування параметрів конусних розсіювачів багатоканальної пневматичної машини для розсіювання мінеральних добрив. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: зб. наук. пр. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2004. Вип. 88. С. 179 – 186.

3. Адамчук О.В. Підвищення ефективності роботи машин для розсіювання мінеральних добрив. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: зб. наук. пр. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2005. Вип. 89. С. 207 – 212.

4. Адамчук О.В. Дослідження розгону мінеральних добрив відцентровим розсівальним органом з похилою віссю обертання. *Техніко – технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*: зб. наук. пр. Укр НДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2005. Вип. 8 (22), кн. 2. С. 228 – 236.

5. Адамчук О.В. Теоретичне дослідження процесу розгону добрива по поверхні відцентрового розсіювального органу з похилою віссю обертання. *Науковий вісник Нац. аграрного у – ту. К.*, 2006. №101. С. 79 – 86.

6. Адамчук О.В. Дослідження процесу руху частинки добрива по поверхні відцентрового розсівального органу з похилою віссю обертання. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: зб. наук. пр. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2006. Вип. 90. С. 263 – 279.

7. Адамчук В., Адамчук О.В., Сікун А.С. Теоретичне обґрунтування складових удосконаленого способу внесення хіммеліорантів. *Техніко – технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського*

господарства України: зб. наук. пр. Укр НДПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке 2008. Вип. 12 (26). С. 255 – 261. (Здобувачем обґрунтовано доцільність установки додаткових відцентрових розсівачів в штангових шинкових пристосуваннях до машин для внесення хіммеліорантів).

8. Адамчук В.В., Адамчук О.В. Теоретичне дослідження нового способу внесення хіммеліорантів. *Вісник аграрної науки: спецвипуск*. 2010. Спеціальний випуск. С. 25 – 30. (Здобувачем отримано математичні залежності, які описують роботу додаткового тукорозсівного робочого органа).

9. Адамчук О.В. Розкидачі твердих мінеральних добрив. *The Ukrainian Farmer*. 2011. № 1. С. 94 – 95.

10. Адамчук О.В., Тихоненко В.В. Машина для розсівання твердих мінеральних добрив. *Аграрна наука – виробництво*. 2012. №3. С. 27. (Здобувач обґрунтував конструктивно-технологічну схему машини і параметри тукорозсівного робочого органа).

11. Адамчук О.В. Теорія разгона удобрених розсеваючим робочим органом центробежного типу. *Научни трудове Русенски университет*. Болгарія. 2013. Т. 52, серія 1.1. С. 22 – 30.

12. Адамчук В.В., Адамчук О.В. Машини для внесення твердих мінеральних добрив. *The Ukrainian Farmer*. 2013. № 3. С. 144 – 146. (Здобувачем обґрунтовані машини для внесення мінеральних добрив основними дозами).

13. Адамчук О.В. Теоретичне дослідження розгону добрив дисковим відцентровим розсівальним робочим органом з похилою віссю обертання та радіально установленими лопатками. *Механізація та електрифікація сільського господарства: зб. наук. пр. ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2013. Вип. 97, Т. 1. С. 58 – 68.

14. Адамчук В.В., Адамчук О.В., Кудря В.О. та ін. Модульно-адаптивний технічний пристрій до розкидачів для внесення дефекату та пташиного посліду. *Аграрна наука – виробництво*. 2013. №2. С. 28. (Здобувач обґрунтував параметри і режими роботи дискових відцентрових робочих органів).

15. Адамчук О.В., Герук С.М., Лінник М.К. Машина для внесення твердих органічних добрив. *Аграрна наука – виробництво*. 2013. №3. С. 31. (Здобувачем обґрунтував параметри і режими роботи розкидальних барабанів).

16. Адамчук О.В. Теоретическое исследование разгона удобрених центробежным рассеивающим рабочим органом с наклонной осью вращения. *Žemės ūkio inžinerija: Mokslinis žurnalas Aleksandro Stulginskio universitetas*. Lietuva. 2013, Issue 45(2), P. 6 – 19.

17. Адамчук О.В. Теорія розгону добрив відцентровим розсівальним робочим органом з похилою віссю обертання. *Механізація та електрифікація сільського господарства: зб. наук. пр. ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2014. Вип. 99. Т. 1. С. 150 – 166.

18. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Адамчук О.В., Захарова Т. Н. Математическая модель движения материальной точки по плоской кривой. *Праці Таврійського держ. агротехнологічного ун – ту*. Мелітополь, 2014. Вип. 14, т. 2. С. 3 – 15. (Здобувач приймав участь у розробленні математичної моделі і виконав дослідження руху матеріальної точки з використанням зазначеної моделі).

19. Булгаков В.М., Адамчук О.В. Теоретичне дослідження відцентрового розкидача мінеральних добрив. *Вісник аграрної науки*. 2016. №12. С .51 – 57. (Здобувач розробив математичні моделі і дослідив роботу відцентрового розкидача мінеральних добрив).

20. Bulgakov V., Ivanovs S. Adamchuk O. Theoretical investigations of mineral fertilizer distribution by means of inclined centrifugal tool. *Proceeding of 6th International conference on Trends in agricultural engineering*, 7th – 9th Sept. 2016, Prague, Czech Republic, 2016. № I. P. 109 – 116. (Здобувач розробив математичні моделі, які описують розгон мінеральних добрив відцентровим тукорозсівним робочим органом з нахилою віссю).

21. Адамчук О.В. Результати теоретичного дослідження відцентрового розсіювального робочого органа розкидача мінеральних добрив. *Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК: матер. міжнар. наук.-практ. конф.*, 14-25 квітня 2016 року. ТДАТУ. Мелітополь, 2016. С. 128-130.

22. Адамчук О.В. Теоретичне дослідження руху матеріальної частинки мінерального добрива по лопатці відцентрового розкидального органа. Збірник тез доповідей XIX Міжн. Конф. науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн», 20-22 березня 2019 р.: НУБіП. К., 2019. С.87-89.

23. Адамчук О.В. Підвищення робочої ширини захвату машин для розсівання мінеральних добрив. *Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: матеріали XXVII Міжн. наук.-техн. конф. та XIX Всеукр. конф.-семінару аспірантів, докторантів та здобувачів у галузі аграрної інженерії*, 19-20 червня 2019 р.: ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2019. С. 25 – 27.

24. Bulgakov V., Ivanovs S., Adamchuk O., Janusz Nowak. Research of descent of mineral fertiliser particle from disc inclined at angle to horizon. *Proceedings 19th International Scientific Conference «Engineering for rural development»*, May 20-22, 2020: Jelgava, Latvia, 2020. Vol. 19. P. 390 – 398. (Здобувач розробив математичні моделі і з їх використанням дослідив сходження).

25. Булгаков В. М., Адамчук О. В.. Методика експериментальних досліджень технологічного процесу внесення мінеральних добрив машинами, обладнаними ТОН. *Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК: збірник тез доповідей VIII-ї Міжнародної наукової конференції в рамках роботи XXXII Міжнародної агропромислової виставки «АГРО 2020»*, 11-14 серпня 2020 року. НУПіБ. К., 2020. С. 131-133. (Здобувач розробив експериментальну установку, методика проведення експериментальних досліджень і провів дослідження).

26. Булгаков В.М., Адамчук О.В., Кувачов В.П. Експериментальні дослідження процесу внесення мінеральних добрив новим відцентровим робочим органом. *Вібрації в техніці та технології*. 2020. №3(98). С. 5-14. (Здобувач розробив експериментальну установку, методика проведення експериментальних досліджень і провів дослідження).

27. Булгаков В.М., Адамчук О.В., Кувачов В.П. Експериментальні дослідження нерівномірності розподілу мінеральних добрив за напрямом їх розсівання. *Інженерія природокористування*. 2020. №2(16). С. 60-68.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

28. Пневматична машина для внесення мінеральних добрив: пат. на винахід 62013 Україна: МКВ А 01 С 17/00/ О.В. Адамчук; О.В. Адамчук (Україна). №2001063889; заявл. 15.12.2003; опубл. 2003, Бюл. №12.

29. Однодискова машина відцентрового типу для внесення мінеральних добрив: деклар. пат. на винахід 62160 Україна: МКВ А 01 С 17/00/ О.В. Адамчук; О.В. Адамчук (Україна). № 2002129659; заявл. 03.12. 2002; опубл. 2003, Бюл. №12.

30. Універсальна машина для розсіювання та завантаження мінеральних добрив, хіммеліорантів і зерна: деклар. пат. на винахід 63703 Україна: МКВ А 01 С 15/00, А 01 С 17/00/ В.В. Адамчук, В.К. Мойсеєнко О.В. Адамчук, ННЦ «ІМЕСГ» (Україна). №203065040; заявл. 02.06.2003; опубл. 2004, Бюл. №1. *(Здобувач розробив схему одночасної установки кількох робочих органів на машині та конструкцію жолоба технологічної місткості).*

31. Пневматична машина для розсіювання мінеральних добрив: пат. на винахід 74690 Україна: МКВ А 01 С 17/00/ О.В. Адамчук; ННЦ «ІМЕСГ» (Україна). №20040301677; заявл. 09.03.2004; опубл. 2006, Бюл. №1.

32. Привід дозувального пристрою машини для розсіювання мінеральних добрив: пат. на винахід 74911 Україна: МКВ А 01 С 17/00/ В.В. Адамчук, В.К. Мойсеєнко, В.В. Тихоненко, О.В. Адамчук, О.І. Кирилов; ННЦ «ІМЕСГ» (Україна). №2004010695; заявл. 30.01.2004; опубл. 2006, Бюл. №2. *(Здобувач розробив конструкційну схему привода).*

33. Машина для розсівання двох і більше видів мінеральних добрив: деклар. пат. на кор. мод. 12794 Україна: МКВ А 01 С 17/00/ В.В. Адамчук, В.К. Мойсеєнко, О.В. Адамчук; ННЦ «ІМЕСГ» (Україна). №20040907876; заявл. 28.09.2004; опубл. 2006, Бюл. №3. *(Здобувач розробив систему контролю рівнів мінеральних добрив у відсіках технологічної місткості).*

34. Самоскидний причіп для транспортування і перевантаження мінеральних добрив в начіпні машини для їх розсівання: пат. на винахід 76226 Україна: МКВ А 01 С 17/00/ В.В. Адамчук, В.К. Мойсеєнко, О.В. Адамчук; ННЦ «ІМЕСГ» (Україна). №20040503749; заявл. 19.05.2004; опубл. 2006, Бюл. №7. *(Здобувач розробив схему перевантаження добрив з причепа в машину для їх розсівання).*

35. Відцентровий апарат для розсіювання сипких матеріалів: пат. на винахід 76327 Україна: МКВ А 01 С 17/00/ В.В. Адамчук, В.К. Мойсеєнко, О.В. Адамчук; ННЦ «ІМЕСГ» (Україна). №20040907879; заявл. 28.09.2004; опубл. 2006, Бюл. №7. *(Здобувач розробив механізм кріплення диска відцентрового апарата).*

36. Відцентровий розсівальний апарат: пат. на винахід 76362 Україна: МКВ А 01 С 17/00/ В.В. Адамчук, В.К. Мойсеєнко, О.В. Адамчук; ННЦ «ІМЕСГ» (Україна). №20041210681; заявл. 24.12.2004; опубл. 2006, Бюл. №7. *(Здобувач розробив конструкцію лопатки розсівального апарата).*

37. Відцентровий розсіювальний апарат: пат. на винахід 76501 Україна:

МКВ А 01 С 17/00/ О.В. Адамчук; ННЦ «ІМЕСГ» (Україна). №20040402856; заявл. 20.04.2004; опубл. 2006, Бюл. №8.

38. Машина відцентрового типу для розсівання мінеральних добрив: пат. на винахід 77024 Україна: МКВ А 01 С 17/00/ О.В. Адамчук; ННЦ «ІМЕСГ» (Україна). №20040503788; заявл. 19.05.2004; опубл. 2006, Бюл. №10.

39. Привід живильника машини для розсівання мінеральних добрив: пат. на винахід 77522 Україна: МКВ А 01 С 17/00/ В.В. Адамчук, В.К. Мойсеєнко, О.В. Адамчук; ННЦ «ІМЕСГ» (Україна). №20041109578; заявл. 22.11.2004; опубл. 2006, Бюл. №1. (*Здобувач розробив конструктивну схему привода*).

40. Стенд для визначення кутів поперечної та поздовжньої стійкості сільськогосподарських машин: пат. на винахід 121686 Україна: МКВ G 01 M 17/000/ М.Н. Савенко, В.І. Дешко, О.В. Адамчук, О.С. Кустов, В.А. Вольський; ННЦ «ІМЕСГ» (Україна). №201804229; заявл. 17.04.2018; опубл. 2020, Бюл. №13. (*Здобувач розробив конструктивну схему стенда*).

АНОТАЦІЯ

Адамчук О.В. Обґрунтування параметрів та режимів роботи удосконаленого відцентрового робочого органа машин для внесення мінеральних добрив. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва (13 – механічна інженерія). – Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, 2021.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної проблеми підвищення продуктивності машин для внесення мінеральних добрив шляхом збільшення їх робочої ширини захвату.

У науковій роботі розроблено математичні моделі, які описують закономірності розгону частинок мінеральних добрив відцентровим розсівним робочим органом, який має нахилену вісь обертання, з урахуванням параметрів та режимів його роботи, фізико-механічних властивостей мінеральних добрив та кожного з чотирьох секторів зазначеного робочого органа, в який може здійснюватись подача мінеральних добрив. На основі зазначених моделей отримано залежності для визначення поточного значення відносної швидкості руху добрив вздовж лопаток відцентрового розсівного робочого органа та її значення в момент сходження добрив.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що машина, яка обладнана таким робочим органом, забезпечує внесення гранульованих добрив з робочою шириною захвату до 39 м, при цьому нерівномірність їх внесення на робочій ширині захвату не перевищуватиме $\pm 20\%$ і за напрямом руху агрегата - $\pm 10\%$, що задовольняє агротехнічні вимоги на машини для внесення мінеральних добрив.

На основі узагальнення отриманих результатів досліджень розроблено і в умовах агропромислового виробництва проведено апробацію рекомендацій щодо вибору конструктивної схеми, параметрів та режимів роботи запропонованого відцентрового розсівного робочого органа. При цьому було досягнуто: збільшення

робочої ширини захвату у 1,95 разів, зменшення сумарних прямих експлуатаційних затрат на 33,22 грн/га та приведених експлуатаційних затрат на 41,04 грн/га.

Річний економічний ефект від використання машини для внесення мінеральних добрив МРД–8, обладнаної ТОН, становить 150764,54 грн.

Результати науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, які були виконані як самим дисертантом, так і за його участі, використані Дослідним конструкторсько-технологічним бюро Інституту механізації та електрифікації сільського господарства при розробленні і виготовленні на замовлення підприємств України дослідних партій машин для внесення твердих мінеральних добрив МРД–5 і МРД-8.

Розробка дисертанта машина МРД-5 була відзначена золотою медаллю ХХ Міжнародної виставки-ярмарку «Агро-2008» в номінації: За розробку та виробництво машин для розсіювання мінеральних добрив МРД-5, а універсальна машина для розсіювання та завантаження мінеральних добрив, хімеліорантів і зерна, співатором якої є дисертант, стала переможницею Всеукраїнського конкурсу «Винахід – 2007» у номінації «Кращий винахід у галузі агропромислового комплексу».

ТОВ «Укрсільгоспмаш» (м. Біла Церква Київської області) з використанням результатів досліджень дисертанта створило сімейство машин для розкидання мінеральних добрив РН–0,8, РН–1 та РП–2,1, які з 2015 року виробляє серійно.

Ключові слова: внесення добрив, продуктивність, відцентровий робочий орган, математичне моделювання, експериментальні дослідження, ефективність.

ANNOTATION

Adamchuk O.V. Substantiation of parameters and modes of operation of the advanced centrifugal working body of machines for application of mineral fertilizers. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.05.11 – machines and means of mechanization of agricultural production (13 – mechanical engineering). – Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, 2021.

The dissertation is devoted to the decision of an actual problem of increase of productivity of machines for introduction of mineral fertilizers by increase of their working width of capture.

The scientific work develops mathematical models that describe the patterns of acceleration of mineral fertilizer particles by centrifugal screening body taking into account the parameters and modes of its operation, physical and mechanical properties of mineral fertilizers and each of the four sectors of the working body to which mineral fertilizers can be supplied. Based on these models, the dependences for determining the current value of the relative velocity of the fertilizer along the blades of the centrifugal screening body and its value at the time of ascent of the fertilizer are obtained.

As a result of theoretical and experimental studies it is established that the machine, which is equipped with an advanced centrifugal screening body, provides the application of granular fertilizers with a working width of up to 39 m, while their uneven application on the working width will not exceed $\pm 20\%$ and direction the unit will not exceed $\pm 10\%$,

which satisfies the agronomic requirements for machines for applying mineral fertilizers.

On the basis of generalization of the received results of researches there were developed and in the conditions of agroindustrial production there was conducted the approbation of recommendations on the choice of constructive scheme, parameters and operation modes of the improved centrifugal sifting working body of the machines for mineral fertilizers application. Thus it has been reached: increase in working width of capture in 1,95 times; reduction of total direct operational expenses on 33,22 UAH / ha; reduction of the resulted operational expenses on 41,04 UAH / ha.

The annual economic effect from the use of the machine for application of mineral fertilizers and lime MVU-8, equipped with TON, is UAH 150,764.54.

Key words: fertilizer application, productivity, centrifugal working body, mathematical modeling, experimental research, efficiency.