

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ТОЧНОГО ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

Olt Jüri ¹, проф.,

Ігнат'єв Євген², к.т.н.,

Снитко М.В.²

¹*Estonian University of Life Sciences*

²*Таврійський державний агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного*

Постановка проблеми. У сучасному точному землеробстві більшість машин для внесення мінеральних добрив використовують дискові відцентрові розкидачі для суцільного розподілу по площі поля або стрічкове внесення за допомогою трубок, закріплених на ґрунтообробних робочих органах [1]. Такі технології добре підходять для великотоннажного внесення, але не забезпечують диференційованих доз добрив для кожної окремої рослини, що є ключовою вимогою точного удобрення багаторічних насаджень. Добрива часто потрапляють у міжряддя, що зумовлює перевитрату, втрати поживних речовин і зниження енергоефективності технології [2, 3].

У межах пошуку нових енергоефективних робочих органів сільськогосподарських машин розглянуто пневматичний робочий орган для точного внесення гранульованих мінеральних добрив, інтегрований у модульний пристрій на базі колісного агроробота. Пристрій призначений для подачі дискретних доз добрив безпосередньо в прикореневу зону кожної рослини за умови безперервного руху робота вздовж рядка. Основою роботи є накопичення разової дози добрив у камері та її швидке викидання стисненим повітрям через нахилену аплікаційну трубку, орієнтовану на конкретну рослину.

Конструктивно робочий орган включає бункер із дозувальним механізмом, накопичувальну камеру, джерело стисненого повітря з ресивером, швидкодіючий електромагнітний клапан та аплікаційну трубку, що може повертатися в горизонтальній площині. Під час руху агроробота дозатор періодично подає гранули в накопичувальну камеру, де формується порція заданої маси. У момент, коли чергова рослина опиняється в межах міжколісного простору, керуюча система повертає вихідний кінець трубки до кореневої зони, відкриває повітряний клапан на розрахований проміжок часу, і повітряний потік переносить дозу добрив до ґрунту під кроною рослини [4]. Після завершення циклу клапан накопичувальної камери знову закривається пружиною, і процес повторюється.

Для теоретичного обґрунтування параметрів робочого органу розроблено математичну модель руху порції добрив у нахиленій аплікаційній трубці з урахуванням її повороту. Порцію розглянуто як узагальнену масу, на яку діють сила ваги, сила тертя об стінки трубки, відцентрова та коріолісова сили інерції в процесі обертання, а також рушійна сила повітряного потоку. Це дозволило отримати нелінійне диференціальне рівняння другого порядку відносного руху порції вздовж осі трубки, розв'язання якого чисельними методами дає залежності переміщення та швидкості виходу порції від часу для заданих конструктивних і режимних параметрів.

Окремо розроблено алгоритми узгодження часу проходження порцією добрив усієї довжини трубки з часом повороту аплікаційної трубки на потрібний кут до рослини. Враховуючи, що агроробот витрачає на переміщення між сусідніми рослинами орієнтовно 1,5–2,5 с, забезпечення точності внесення можливе лише за умови, що час розгону порції в трубці, час її виходу та час повороту трубки синхронізовані. Побудовані розрахункові залежності дають змогу підібрати кутову швидкість привода повороту трубки і величину зусилля повітряного потоку для заданої довжини трубки та маси порції.

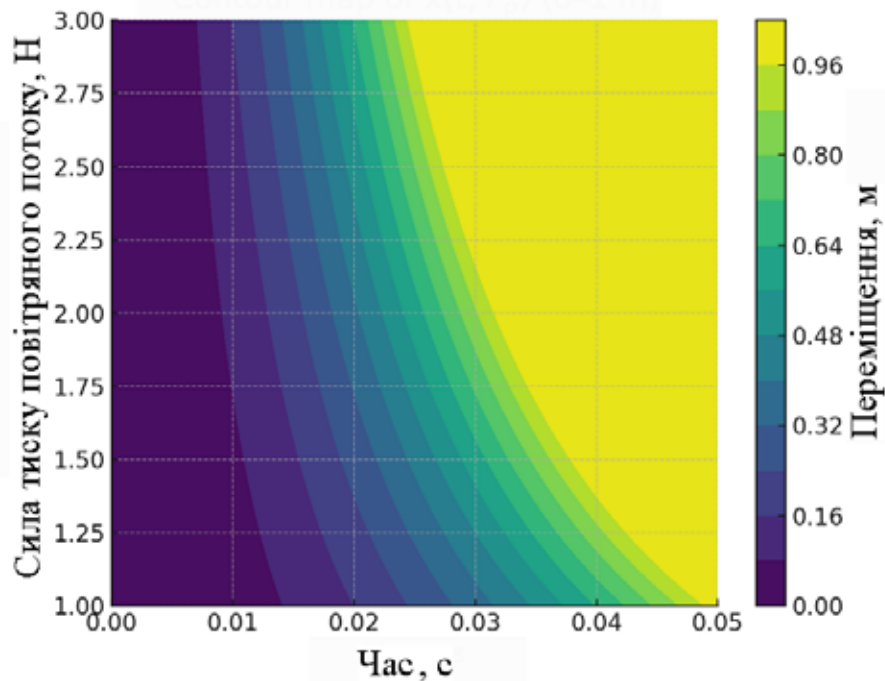


Рис. 1. Залежність переміщення порції добрив уздовж аплікаційної трубки від часу за різних значень зусилля повітряного потоку

Результати чисельних досліджень показали, що основними параметрами, які визначають тривалість переміщення порції вздовж трубки, є маса дози та зусилля повітряного потоку. Зі збільшенням зусилля повітряного потоку від 1 до 3 Н час досягнення вихідного зрізу трубки суттєво зменшується, а характер руху має прискорений характер. Натомість збільшення маси дози з 0,01 до 0,04 кг

призводить до помітного збільшення часу розгону через інерційні властивості матеріалу. На основі цих залежностей визначено діапазони конструктивних і кінематичних параметрів, за яких забезпечується своєчасне надходження порції до виходу трубки при заданій швидкості руху робота.

Адекватність математичної моделі перевіряли за результатами експериментальних досліджень на стенді з трубкою діаметром 0,019 м і довжиною 1 м, встановленою під кутом 45° до горизонту. Вимірювали час проходження порцій масою 0,01 та 0,04 кг через відрізки 0,33; 0,66 та 1,0 м з п'ятикратною повторністю. Порівняння розрахункових і експериментальних даних показало середню відносну похибку близько 3 % для дози 0,01 кг і близько 9,5 % для 0,04 кг, при цьому коефіцієнти кореляції перевищували 0,95. Це підтверджує придатність моделі для інженерних розрахунків і подальшої оптимізації робочого органу.

Отримані результати свідчать, що запропонований пневматичний робочий орган забезпечує можливість циклічної, порційної подачі добрив до кореневої зони кожної рослини без зупинки агроробота, а також створює передумови для зниження енерговитрат завдяки короткочасним імпульсам повітря замість постійного повітряного потоку. Локалізація добрив у зоні розміщення коренів дає змогу зменшити їх загальну витрату та втрати в міжрядді, що підвищує як енергоефективність робочого органу, так і екологічну ефективність технології точного землеробства.

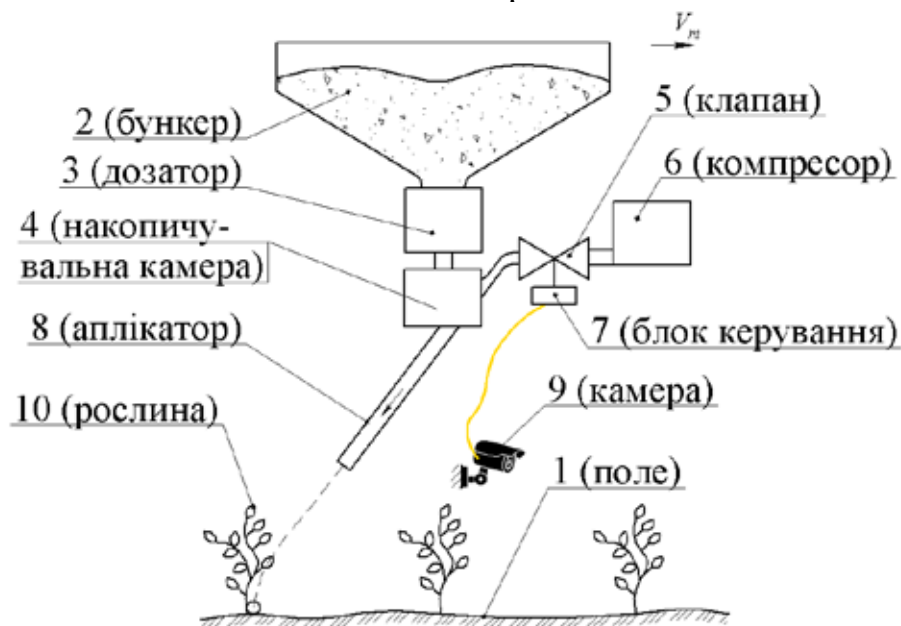


Рис. 2. Схема пневматичного робочого органу для точного внесення мінеральних добрив

Висновки.

1. Розроблено та теоретично обґрунтовано конструкцію пневматичного робочого органу для точкового внесення

гранульованих мінеральних добрив агророботом, що забезпечує дискретне дозування за схемою «кг на рослину».

2. Показано, що час руху порції добрив у нахиленій аплікаційній трубці визначається, головним чином, масою порції та зусиллям повітряного потоку; встановлені діапазони параметрів, за яких можливе синхронне поєднання руху порції, повороту трубки та поступального руху робота.

3. Експериментальна перевірка моделі показала відносну похибку прогнозованого часу переміщення порції в межах 3,0–9,5 %, що є достатнім для практичного застосування під час проектування та налаштування робочого органу.

4. Локалізоване внесення добрив розробленим робочим органом зменшує їх перевитрату в міжряддях і створює передумови для зниження сумарних енерговитрат у системах точного землеробства.

Список використаних джерел

1. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Beloev, H., Korenko, M. *Mineral Fertilization Theory and Working Tools of Fertilizer Spreading Machines*. Sofia, 2017.

2. Virro, I., Arak, M., Maksarov, V., Olt, J. Precision fertilisation technologies for berry plantation. *Agron. Res.*, 2020, 18, 2797–2810.

3. Valero, C., Krus, A., Cruz Ulloa, C., et al. Single Plant Fertilization Using a Robotic Platform in an Organic Cropping Environment. *Agronomy*, 2022, 12, 1339

4. Lillerand, T., Liivapuu, O., Ihnatiev, Y., Olt, J. Theoretical Study of a Pneumatic Device for Precise Application of Mineral Fertilizers by an Agro-Robot. *AgriEngineering* 2025, 7(10), 320.