

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-298-12-61-66>

УДК 631.319

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТУКОВОЇ МАШИНИ З ВІДЦЕНТРОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Фесенко Г.В., Мелконов Г.Л., Боровік П.В.

INCREASING THE EFFICIENCY OF A FAT MACHINE WITH CENTRIFUGAL WORKING BODIES

Fesenko H.V., Melkonov H.L., Borovik P.V.

Застосування мінеральних добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур призводить поряд з підвищенням їх врожайності, також до поліпшення якості виробленої продукції. Водночас ефективність застосування мінеральних добрив в значній мірі залежить від рівномірності їх розподілу в ґрунті, зокрема при поверхневому їх внесенні. Проведеними аналітичними дослідженнями виявлено, що туковій машині з відцентровими робочими органами допускають внесення мінеральних добрив з підвищеною нерівномірністю, що призводить до недобору врожаю сільськогосподарських культур. Крім того, ударна взаємодія гранул мінеральних добрив із лопатками відцентрового диску під час його обертального руху, призводить до руйнування гранул добрив з утворенням пиловидної фракції, яка поряд із погіршенням рівномірності їх внесення, призводить до забруднення навколишнього середовища. Також встановлено, що, причиною підвищеної нерівномірності внесення мінеральних добрив такими відцентровими робочими органами є те, що з віддаленням від тукової машини кількість добрив на одиницю площі поступово зменшується. Підвищити рівномірність поверхневого внесення мінеральних добрив, в технологічних процесах вирощування сільськогосподарських культур а отже і ефективність їх застосування можливо шляхом регульованого їх розподілу в ближні і дальні зони розсіву. Для цього у відцентровому робочому органі лопатки слід встановити рухомо на пружному стрижні таким чином, щоб при відхиленні лопатки в стрижні накопичувалась потенціальна енергія. Крім того, лопаткам слід задати регульований характер безвідривного обертового руху, наприклад, шайбою з внутрішньою профільною робочою поверхнею, із можливістю призупинення лопатки при її заповненні мінеральним добривом. Водночас кожному лопатку відцентрового диску обладнати

пальцем, спрямованим в сторону профільної поверхні шайби, в якому у виконаному прорізі вільно встановити на осі ролик таким чином, щоб вісь його симетрії була співвісна з віссю симетрії стрижня лопатки. Крім того, стрижні слід наділити пристроєм для зміни їх крутного моменту при зміні умов внесення мінеральних добрив туковою машиною з таким відцентровим робочим органом. Виконання відцентрового робочого органу в такому вигляді при його застосуванні створюються умови регульованого розподілення мінеральних добрив по ширині захвату тукової машини, внаслідок чого забезпечується рівномірне їх внесення без утворення пиловидної фракції, а отже і підвищення ефективності застосування такого відцентрового робочого органу.

Ключові слова: машина, мінеральні добрива, відцентровий диск., ефективність, профіль.

Вступ.

Вирощування сільськогосподарських культур тісно пов'язано із використанням ними поживних речовин, що призводить до зниження родючості ґрунту, відновлення якого забезпечується внесенням різних видів добрив, в тому числі і мінеральних промислового походження. Для поверхневого внесення мінеральних добрив застосовують в більшості випадків туковій машини як вітчизняних так і зарубіжних виробників з відцентровими робочими органами, до яких відносяться такі машини як МТТ-4У, РМД-6, РМД-8 та інші, зарубіжні: Amazone ZG-B 8200, Amazone ZG-TS та інші, які допускають внесення добрив з перевищенням агротехнічних вимог [1]. В результаті структурного аналізу

технологічних властивостей відомих машин для внесення мінеральних добрив, обладнаних відцентровими робочими органами, виявлена їх неспроможність розподілити добрива по ширині розсіву з підвищеною рівномірністю із-за недостатньою керованою здатністю якісно розподіляти добрива в ближніх і дальніх зонах розсіву. При цьому з підвищенням обертів відцентрових дисків, підвищується ступінь руйнування їх лопатками гранул мінеральних добрив, що призводить до утворення пиловидної фракції, внаслідок чого погіршується рівномірність їх внесення і забруднюється навколишнє середовище. Підвищити показники внесення мінеральних добрив відцентровими робочими органами можливо за рахунок розширення їх функціональних можливостей шляхом внесення відповідних конструктивних змін.

Метою роботи є підвищення рівномірності внесення мінеральних добрив туковою машиною з відцентровим робочим органом за рахунок керованого розподілення їх часток по площі.

У відповідності з метою поставлені наступні задачі: провести аналітичні дослідження відомих відцентрових робочих органів, на основі яких зробити відповідні висновки; надати оцінку технологічним показникам поверхневого внесення мінеральних добрив туковою машиною з відцентровим робочим органом; розробити технічні заходи по підвищенню ефективності відцентрового робочого органу при внесенні мінеральних добрив.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналітичними дослідженнями встановлено, що тукові машини поверхневого внесення мінеральних добрив та інших сипких матеріалів вітчизняних і зарубіжних виробників в більшості випадків обладнані відцентровими робочими органами з нерухомо установленими на дисках лопатками [2]. Аналіз наукових робіт вчених Василенко П. М., Назаров С. І., Хоменко М. С., Волошин Н. І., Якімов Ю. І., (Якубаускас В.І., Догонівський М. Г., Черноволів В. А., Адамчук В. В. та інших показав, що показники роботи відцентрових робочих органів з нерухомо установленими лопатками, в значній мірі обумовлені їх конструктивними та режимними параметрами і не в повній мірі відповідають сучасним вимогам щодо рівномірності внесення мінеральних добрив. Відомо, що з нерівномірне внесення мінеральних добрив знижує ефективність їх

застосування, наприклад, при внесенні основної дози мінеральних добрив з нерівномірністю 50%, що має місце у виробничих умовах, недобір врожаю зернових культур досягає 7% [3].

Результати дослідження. Поряд з відцентровими робочими органами з нерухомо установленими лопатками, відомий відцентровий робочий орган, в якому лопатки установлені рухомо на осі і підпружинені в площині їх обертового руху [4]. Особливість такого робочого органу полягає в тому, що до маточини шарнірно прикріплені підпружинені сегментні лопатки із пальцями, а до корпусу закріплені з розміщенням в зоні розташування пальців відбивач у вигляді шайби з внутрішньою профільною робочою поверхнею, сполученою з вільними кінцями сегментних пальців по її периметру [4] (рис. 1).

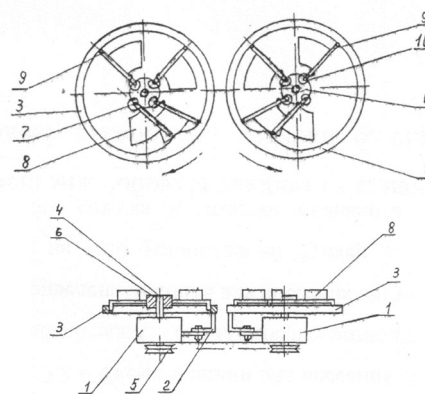


Рис. 1. Відцентровий робочий орган з підпружиненими сегментними лопатками:
1 – корпус; 2 – пристрій; 3 – відбивач;
4 – привідний вал; 5 – шків; 6 – маточина;
7 – вісь; 8 – сегментні лопатки; 9 – палець;
10 – пружина

Під час внесення таким відцентровим робочим органом в складі машини мінеральних добрив, приведений в обертовий рух шків 5 через вал 4 та маточину 6 передає свій рух сегментам 8 із пальцями 9. В цей час пальці 9, притиснуті під дією пружин 10 до робочої поверхні відбивача 3, копіюють її профіль у безвідривному режимі, в результаті чого сегменти 8 повертаються відносно своєї осі 7, сповільнюючи свій рух із закручуванням своєї пружини 10. Водночас в пружині 10 відбувається накопичення потенціальної енергії (E_p), величина якої залежить від жорсткості (c) пружини і зміщення пружини лопаткою від її первісного стану [5]:

$$U_n = \frac{c \cdot (\Delta x)^2}{2}, \text{Дж}$$

Надходження мінеральних добрив на сегменти 8 відбувається з початком їх призупинення випуклою частиною поверхні відбивача 3. Після сходження пальців 9 із відбивача 3, сегменти 8 із добривом, починають рухатись із прискоренням під дією моменту сили від закрученої пружини 10. Водночас добрива, під дією на них відцентрової сили, починають сходити із сегментів 8 у відповідності із характером наростаючої колової швидкості від дії на них відцентрової сили. При цьому потенціальної енергії закрученої пружини 10 повинно бути достатньо для розсіву сегментом 8 її добрива. Звільнені від добрива сегменти 8 і діючі на них сили пружини, сповільнюють свій рух дією на них профільної поверхні відбивача 3 на пальці 9, і процес роботи такого відцентрового робочого органу продовжується.

Разом з тим в такому відцентровому робочому органі із збільшенням маси заповнених сегментів, що має місце при збільшенні дози внесення мінеральних добрив, сила притискування їх пальців до випуклості шайби виявилась недостатньою для переміщення пальців в безвідривному режимі. Внаслідок цього порушується заданий характер розсівання лопаткою добрив, що позначається на рівномірності їх внесення.

В результаті подальших творчих досліджень винайдений відцентровий робочий орган для розсіювання мінеральних добрив та інших сипких матеріалів наділений підвищеною пристосованістю до змін умов роботи за рахунок застосування пружних стрижнів з механізмом їх скручування відносно маточини [6] (рис. 2).

Характерною ознакою такого відцентрового робочого органу є те, що із зміною маси добрива на лопатці 12 при зміні умов роботи, змінюється і діюча на неї сила шляхом зміни пружності стрижня 8 механізмом 9. Внаслідок цього забезпечується стабільність якісних показників внесення мінеральних добрив при зміні умов роботи, що підвищує ефективність такого відцентрового робочого органу. Водночас в такому відцентровому робочому органі переміщення вільних кінців пальців по профільній поверхні шайби відбувається із ковзанням, на подолання виникаючої при цьому сили тертя ковзання витрачається значна механічна енергія [7].

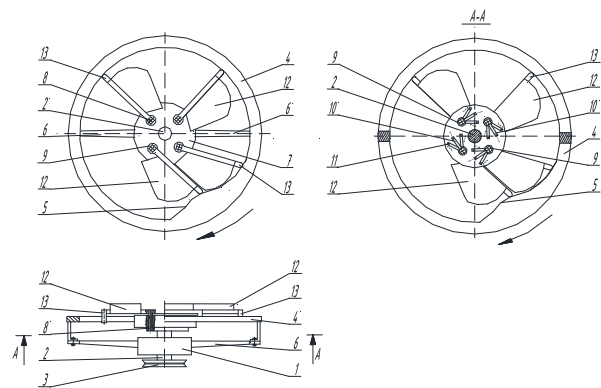


Рис. 2. Відцентровий робочий орган для розсіювання мінеральних добрив та інших сипких матеріалів:

- 1 – корпус; 2 – вал привідний; 3 – шків; 4 – шайба;
- 5 – випуклість шайби; 6 – пристрій; 7 – маточина;
- 8 – стрижень; 9 – механізм скручування стрижнів;
- 10 – важіль; 11 – фіксатор; 12 – лопатка сегментна;
- 13 – палець

Підвищити ефективність такого відцентрового робочого органу можливо шляхом зниження витрат механічної енергії на переміщення сегментних пальців по профільній поверхні шайби. Для цього у сегментних пальцях відцентрового робочого органу зі сторони протилежної від їх кріплення до лопатки, слід виконати повздовжній паз, який повинен бути звернутий до профільної поверхні шайби. Водночас у виконаному пазі встановити ролик на циліндричному стержні таким чином, щоб вісь симетрії ролика була співвісна із повздовжньою віссю симетрії стрижня.

Під час внесення мінеральних добрив таким відцентровим робочим органом в складі тукової машини, обертовий рух від шківів 3 і валу 2 з маточиною 7 передається стрижням 8, які в свою чергу передають обертовий рух і зусилля від своєї пружності сегментним лопаткам 12 з пальцями 13, які через циліндричні стержні 16 передають його своїм роликам 15 в пазі 14. В результаті того, що вісь симетрії стержня 16 співвісна з повздовжньою віссю симетрії стрижня 8 кожної лопатки 12, відбувається безвідривне перекошування роликів 15 по профільній поверхні шайби 4 без проковзування, а отже і з пониженими витратами енергії. З початком переміщення ролика 15 пальця 10 по випуклості 5 профільної поверхні шайби 4, лопатка 12 відхиляється від свого попереднього положення з одночасним призупиненням свого обертового руху. При цьому лопатка 12 закручує свій стрижень 8, внаслідок чого в ньому відбувається пружне кутове зміщення з накопиченням потенціальної

енергії В цей час на призупинену лопатку 12 поступає сипкий матеріал і з початком сходження ролика 15 з випуклості 5, лопатка 12 із сипким матеріалом під дією сили пружності закрученого її стрижня 8 починає рухатись із прискоренням. При сходженні із випуклості 5 лопатки 12, під дією на неї моменту від сили пружності закрученого стрижня 8, лопатка 12, використовуючи накопичену в стрижні 8 потенціальну енергію, розсіває мінеральні добрива з підвищено рівномірністю. В цей час до випуклості 5 підходить наступна лопатка 12 і робочий процес внесення мінеральних добрив продовжується.

Кінематичний аналіз такого відцентрового робочого органу показав, що зусилля що передається на лопатку від стрижня залежить від величини його закручування під час призупинення лопатки виступом профільної поверхні шайби. При цьому крутний момент, що виникає в стрижні, лежить в площині його поперечного перерізу і співпадає обертовим рухом лопатки. У відповідності із законом Гука, кут закручування (φ) стрижня пропорційний його довжині (l) і крутному моменту (T), що при цьому виникає, можна визначити за наступною залежністю:

$$\varphi = \frac{T \cdot l}{G \cdot I_p}, \text{ рад}$$

де G – модуль зсуву, Н;

I_p – геометричний полярний момент інерції стрижня, м^2 .

Водночас добуток GI_p , як жорсткість стрижня, характеризує його властивість створювати на лопатці відповідне зусилля при скручуванні.

Разом з тим важливою умовою забезпечення заданої дальності польоту часток добрив є наявність у стрижня необхідної потенціальної енергії (U_n) деформації, яка залежить від крутного моменту (T):

$$U_n = \frac{T^2 \cdot l}{2G \cdot J_p}$$

У відповідності із законом збереження механічної енергії, кінетична енергія (U_k), що витрачається лопаткою при розсіві порції добрива прирівнюється потенціальній енергії накопиченої в стрижні при його скручуванні, за умови відсутності посторонніх сил [8]:

$$U_k = U_n$$

При цьому кінетична енергія (U_k) обертального руху лопатки з добримом залежить від її моменту інерції (I) і кутової швидкості (ω):

$$U_k = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2, \text{ Дж}$$

Важливим технологічним показником при внесенні мінеральних добрив таким відцентровим робочим органом є швидкість обертального руху лопаток, від якого залежить дальність польоту часток добрив. Після підстановки відповідних значень у формулу (3), кутова швидкість обертального руху лопатки визначається:

$$\omega = \sqrt{\frac{T^2 \cdot l}{G \cdot I_p \cdot I}} \text{ рад/с.}$$

В отриманій залежності на кутову швидкість обертального руху лопатки відцентрового робочого органу в найбільшій мірі впливає крутний момент (T) на пружному стрижні, а також його жорсткість.

Висновки. У результаті проведених аналітичних досліджень конструктивно-кінематичних параметрів відцентрових робочих органів тукових машин виявлено низку суттєвих недоліків, які обмежують їх технологічні можливості та знижують ефективність процесу поверхневого внесення мінеральних добрив. Зокрема встановлено, що традиційні конструкції не забезпечують необхідної рівномірності розподілу добрив по ширині захвату, супроводжуються підвищеними ударними навантаженнями на гранули та мають значні енергетичні втрати, зумовлені тертям у зонах взаємодії робочих елементів.

На основі виявлених недоліків розроблено та запропоновано нові технічні рішення відцентрових робочих органів із покращеними технологічними можливостями, які спрямовані на підвищення рівномірності розсіювання мінеральних добрив, зменшення руйнування гранул і стабілізацію параметрів їх руху. Запропоновані конструктивні зміни передбачають використання рухомих лопаток, встановлених на пружних стрижнях, що створює передумови для керованого накопичення та подальшого використання потенціальної енергії пружної деформації.

У процесі теоретичних досліджень отримано аналітичні залежності, які дають

зможу визначити величину накопиченої потенціальної енергії в пружному стрижні, необхідної для її перетворення в кінетичну енергію прискореного руху лопатки разом із порцією мінерального добрива. Також встановлено закономірності зміни кутової швидкості лопатки з урахуванням варіації жорсткості пружного стрижня, геометричних і масових характеристик лопатки, параметрів відцентрового диска та режимів роботи тукової машини при зміні умов внесення добрив. Отримані аналітичні залежності дозволяють обґрунтовано вибирати конструктивні та кінематичні параметри відцентрового робочого органу з метою забезпечення стабільного та прогнозованого процесу розсіювання добрив у ближній і дальній зонах розкиду. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню рівномірності внесення та зменшенню втрат поживних речовин.

У цілому підвищення ефективності запропонованого відцентрового робочого органу досягається також за рахунок заміни сили тертя ковзання, що виникає під час контакту пальців лопаток із профільною робочою поверхнею шайби, на силу тертя кочення. Відомо, що сила тертя кочення є значно меншою порівняно з силою тертя ковзання, що дозволяє істотно знизити енергетичні витрати, зменшити зношування контактних поверхонь та забезпечити плавність руху лопаток. У результаті створюються умови для підвищення надійності, довговічності та загальної ефективності роботи відцентрового робочого органу тукової машини.

Література

1. Ковтун Ю. І. Статистичні аспекти показників якості при механізованому внесенні добрив // Механізація та електрифікація сільського господарства : наук. праці. Полтава : РВВ ПДАА, 2007. Т. 6 (25). С. 65–68.
2. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Каравела, 2015. 552 с.
3. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Агротехнічні вимоги до машин для підготовки і внесення добрив : підручник / Д. Г. Войтюк та ін. Київ : Вища освіта, 2004. С. 82–84.
4. Відцентровий робочий орган для розсіювання сипучих матеріалів : пат. 51807 Україна : МПК А01С 17/00. № 2000031501 ; заявл. 16.03.2000 ; опубл. 16.12.2002, Бюл. № 12. 4 с.
5. Антоненко І. І. Технічна механіка : навч. посіб. Кривий Ріг : КДПУ, 2016. С. 22–27.
6. Відцентровий робочий орган для розсіювання

сипучих матеріалів : пат. 117438 Україна : МПК А01С 17/00. № а201709282 ; заявл. 21.09.2017 ; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 14. 4 с.

7. Закалов О. В. Основи тертя і зношування в машинах : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 75 с.
9. Коваленко В. Ф. Загальна фізика в прикладах, запитаннях і відповідях. Механіка : навч. посіб. Київ : Київський університет, 2011. 223 с.

References

1. Kovtun Yu. I. Statistical aspects of quality indicators in mechanized fertilizer application [Statystychni aspekty pokaznykiv yakosti pry mekhanizovanomu vnesenni dobriv]. Mechanization and Electrification of Agriculture: Scientific Works. Poltava: RVV PDAA, 2007. Vol. 6 (25). P. 65–68.
2. Voitiuk D. H., Havryliuk H. R. Agricultural machinery [Silskohospodarski mashyny]. Kyiv: Karavela, 2015. 552 p.
3. Voitiuk D. H., et al. Agricultural and reclamation machines. Agrotechnical requirements for machines for fertilizer preparation and application [Silskohospodarski ta melioratyvni mashyny. Ahrotekhnichni vymohy do mashyn dlia pidhotovky ta vnesennia dobriv]. Kyiv: Vyshcha Osvita, 2004. P. 82–84.
4. Centrifugal working body for spreading bulk materials [Vidtsentrovyi robochyi orhan dlia rozsiuvannia sypkykh materialiv]. Patent UA No. 51807, IPC A01C 17/00. Application No. 2000031501; filed 16.03.2000; published 16.12.2002. Bulletin. No. 12. 4 p.
5. Antonenko I. I. Technical mechanics [Tekhnichna mekhanika]. Kryvyi Rih: KDPU, 2016. P. 22–27.
6. Centrifugal working body for spreading bulk materials [Vidtsentrovyi robochyi orhan dlia rozsiuvannia sypkykh materialiv]. Patent UA No. 117438, IPC A01C 17/00. Application No. a201709282; filed 21.09.2017; published 25.07.2018. Bulletin. No. 14. 4 p.
7. Zakalov O. V. Fundamentals of friction and wear in machines [Osnovy tertia ta znoshuvannia v mashynakh]. Ternopil: TNTU named after I. Puluiy, 2011. 75 p.
8. Kovalenko V. F. General physics in examples, questions and answers. Mechanics [Zahalna fizyka v prykladakh, zapytanniakh i vidpovidiakh. Mekhanika]. Kyiv: Kyiv University, 2011. 223 p.

Fesenko H.V., Melkonov H.L., Borovik P.V. Increasing the efficiency of a fat machine with centrifugal working bodies.

The use of mineral fertilizers in the cultivation of crops leads, along with an increase in their yield, also to an improvement in the quality of the produced products. At the same time, the effectiveness of the use of mineral fertilizers largely depends on the uniformity of their distribution in the soil. in particular, when they are

applied superficially. The conducted analytical studies have revealed that fertilizer machines with centrifugal working bodies allow the application of mineral fertilizers with increased unevenness, which leads to a shortage of crop yields. In addition, the impact interaction of mineral fertilizer granules with the blades of the centrifugal disk during its rotational movement leads to the destruction of fertilizer granules with the formation of a dusty fraction, which, along with the deterioration of the uniformity of their application, leads to environmental pollution. It has also been established that the reason for the increased unevenness of the application of mineral fertilizers by such centrifugal working bodies is that with increasing distance from the fertilizer machine, the amount of fertilizers per unit area gradually decreases. It is possible to increase the uniformity of the surface application of mineral fertilizers in the technological processes of growing agricultural crops and, consequently, the efficiency of their application by means of their regulated distribution in the near and far sowing zones. To do this, in the centrifugal working body, the blades should be movably mounted on an elastic rod in such a way that when the blade is deflected, potential energy accumulates in the rod. In addition, the blades should be given a regulated nature of continuous rotational movement, for example, by a washer with an internal profile working surface, with the possibility of suspending the blade when it is filled with mineral fertilizer. At the same time, each blade of the centrifugal disk should be equipped with a finger directed towards the profile surface of the washer, in which a roller can be freely installed on the axis in the slot made in such a way that its axis of symmetry is

coaxial with the axis of symmetry of the blade rod. In addition, the rods should be equipped with a device for changing their torque when changing the conditions of applying mineral fertilizers by a fertilizer machine with such a centrifugal working body. The execution of the centrifugal working body in such a form when used creates conditions for regulated distribution of mineral fertilizers across the width of the fertilizer machine, as a result of which their uniform application is ensured without the formation of a dusty fraction, and therefore an increase in the efficiency of using such a centrifugal working body.

Key words: machine, mineral fertilizers, centrifugal disc., efficiency, profile.

Фесенко Григорій Васильович – к.т.н., доц., доцент кафедри механізації сільського господарства, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Київ)

Мелконов Григорій Леонідович – к.т.н., доц., завідувач кафедрою механізації сільського господарства, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Київ), melkonov78@snu.edu.ua

Боровік Павло Володимирович – д.т.н., доц., професор кафедри механізації сільського господарства, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Київ)

Стаття подана 15.11.2025.