



DOI 10.32782/2078-0877-2025-25-1-2

УДК 631.37:631.3.00.65

В. П. Кувачов, д-р техн. наук

В. М. Дружич, інженер

С. О. Шевченко, інженер

К. О. Зеленов, інженер

ORCID: 0000-0002-5762-256X

ORCID: 0009-0007-5361-5921

ORCID: 0009-0007-3371-1262

ORCID: 0009-0001-1235-6341

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: volodymyr.kuvachov@tsatu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ КОПАЧА НА ВЕРТИКАЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ КОЛІС МАЛОГАБАРИТНОГО МЕХАНІЗОВАНОГО АГРЕГАТУ

Анотація. Актуальність теми досліджень полягає у вирішенні проблеми погіршення зчеплення рушіїв малогабаритної с.-г. техніки в складі копачів через вертикальний складник реактивної сили опору при вертикальному різанні ґрунту. Мета досліджень – підвищити техніко-експлуатаційні показники роботи малогабаритного механізованого агрегату в складі одноосьового енергозасобу та копача шляхом обґрунтування його параметрів. За результатами досліджень уперше обґрунтовано вплив вертикального складника реактивної сили копача на довантаження коліс одноосьового енергозасобу та запропоновано методи оптимізації параметрів роботи малогабаритних аграрних агрегатів, які працюють за принципом вертикального різання ґрунту. Отримані результати можуть бути використані для розроблення рекомендацій щодо проєктування та експлуатації малогабаритних механізованих агрегатів у складі копачів, що дасть змогу підвищити їх продуктивність і тягово-зчіпні властивості в польових умовах.

Ключові слова: сталий розвиток сільського господарства, підтримка малих фермерів, технічні інновації в аграрному секторі, агроінженерія.

Постановка проблеми. Малогабаритна сільськогосподарська техніка має перспективи та тенденції до широкого використання в малих і середніх фермерських господарствах завдяки своїй універсальності, компактності та економічності [1].

Одним із перспективних напрямів застосування малогабаритних агрегатів є агрегування одноосьового енергетичного засобу із сільськогосподарськими знаряддями реактивного типу, як-от копачі [2; 3]. Переваги використання одноосьового енергетичного засобу з реактивним с.-г. знаряддям є такі:

- ефективне використання енергії – реактивний принцип роботи копача (наприклад, вібраційний або гравітаційний принцип) зменшує тяговий опір, що знижує навантаження на мотоблок і покращує його прохідність;
- підвищення продуктивності – завдяки механічним вібраціям або активним робочим органам відбувається ефективніше відокремлення ґрунту від коренеплідів, що зменшує втрати врожаю;
- зменшення буксування – використання реактивного обладнання змінює розподіл навантаження, що сприяє кращому зчепленню коліс одноосьового енергозасобу з ґрунтом, особливо на важких та зволжених ґрунтах;
- компактність та мобільність – така система добре підходить для малих господарств, де використовувати великі трактори нерентабельно.

Водночас при роботі копача в складі агрегату з одноосьовим енергетичним засобом (типу мотоблок) виникає проблема погіршення зчеплення рушіїв останнього з ґрунтом [2; 3]. Це

пов'язано з дією вертикального складника реактивної сили, що утворюється внаслідок опору ґрунту в процесі роботи копача. Погіршення зчеплення рушіїв одноосьового енергозасобу (мотоблоку) через вертикальний складник реактивної сили копача є актуальною проблемою, що впливає на продуктивність роботи агрегату. Вона може бути частково вирішена конструктивними змінами в навісній системі або коригуванням параметрів роботи копача, що дає змогу покращити стійкість і тягові характеристики одноосьового енергетичного засобу.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що під дією вертикального складника тягового опору задньонавісного знаряддя традиційного машинно-тракторного агрегату має місце перерозподіл ваги трактора по мостах. Зазвичай задній міст трактора при цьому довантажується до 11 % [4], а передній міст розвантажується до 35 % [4].

Також суттєвий вплив на зчіпні властивості трактора здійснює його агрегування з передньонавісними (фронтальними) плугами. У роботах [5–7] зазначається, що при не правильному агрегуванні фронтальних плугів можна отримати не довантаження передніх коліс трактора, а навпаки – їх розвантаження.

Навантаження на колеса малогабаритного механізованого агрегату залежить від багатьох факторів, зокрема від нахилу тяги його жорсткого зв'язку із с.-г. знаряддям [8]. З аналізу роботи [8] випливає, що при збільшенні нахилу тяги жорсткого зв'язку копача вниз навантаження на колеса одноосьового енергозасобу збільшується. Це відбувається тому, що вага с.-г. знаряддя та оброблюваного ґрунту перерозподіляється на колеса малогабаритного механізованого агрегату.

З аналізу наявних досліджень встановлено, що науковцями не враховано величину реакцій тягового зусилля сільськогосподарського знаряддя, що працює за принципом вертикального різання ґрунту, зокрема горизонтальні та вертикальні складники його тягового опору. Також науковцями не розглянуто впливу змін у розподілі ваги малогабаритного механізованого агрегату та опорного колеса знаряддя з вертикальним різанням ґрунту (копача), які виникають унаслідок їх довантаження чи розвантаження під час взаємодії робочих органів з ґрунтом. Відсутність чітких закономірностей щодо впливу нахилу тяги з'єднання одноосьового енергозасобу з копачем на зміну їх вертикальних реакцій при контакті з агрофоном обмежує можливість формулювання загальної моделі для точного прогнозування та оптимізації параметрів роботи малогабаритних агрегатів зі знаряддями, які працюють за принципом вертикального різання ґрунту.

Мета досліджень – підвищити техніко-експлуатаційні показники роботи малогабаритного механізованого агрегату в складі одноосьового енергозасобу та копача шляхом обґрунтування його параметрів.

Основна частина. Положимо, що навісне обладнання одноосьового енергозасобу малогабаритного механізованого агрегату представлено одинарною тягою (жорстке зчеплення). Такий спосіб агрегування малогабаритних агрегатів типу мотоблок зазвичай є основним. По суті, це одинарна штанга або регульована тяга, яка передає тягове зусилля на агрегат.

У такому разі на досліджуваний малогабаритний механізований агрегат у складі копача в поздовжньо вертикальній площині збоку одноосьового енергетичного засобу й ґрунтового середовища діють такі сили (рис. 1):

- сила ваги копача (G), кН;
- сила тягового опору копача R (кН), яка направлена під кутом α до вертикалі, що відповідає куту вертикального занурення лопаток копача в ґрунт;
- сила дії одноосьового енергетичного засобу на копач через тягу (P), кН;
- вертикальна реакція N_k (кН) опорного колеса копача;
- опір кочення колеса копача $F_k = N_k f$ (кН), де f – коефіцієнт опору кочення опорного колеса копача з ґрунтом.

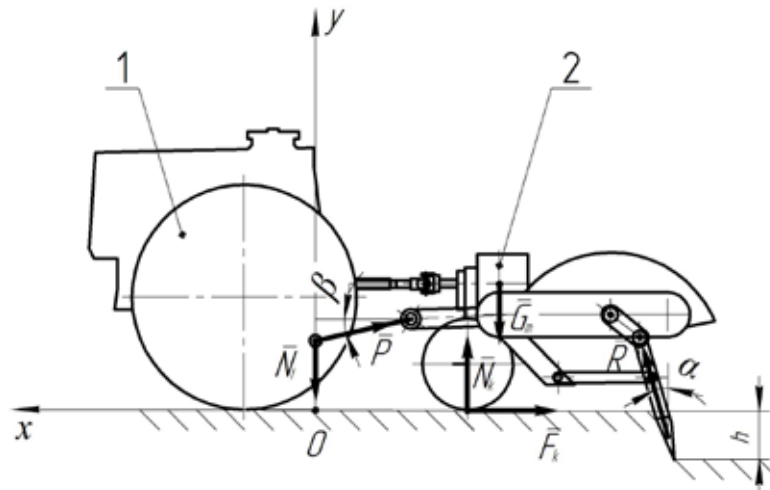


Рис. 1. Схема сил, які діють на малогабаритний механізований агрегат у складі копача в поздовжньо-вертикальній площині: 1 – одноосьовий енергетичний засіб; 2 – копач

Зі згаданих сил невідомими є дві: P та N_k . Для їх визначення в процесі досліджень приймемо такі припущення: батарею лопаток копача доцільно представити у вигляді однієї еквівалентної лопатки; через гнучкість карданного з'єднання активних робочих органів копача з одноосьовим енергозасобом силою дії останнього на с.-г. знаряддя через карданний вал знехтуємо.

Для визначення невідомих сил P та N_k складемо систему двох рівнянь у вигляді суми проєкцій сил на осі OX і OY (рис. 1):

$$\left. \begin{aligned} R \sin \alpha - P \cos \beta - N_k f &= 0; \\ R \cos \alpha + P \sin \beta + N_k - G &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де α – кут нахилу реакції тягового опору лопатки копача до вертикалі, град;

β – кут нахилу тяги причіпного механізму одноосьового енергозасобу до горизонту, град.

Із системи рівнянь (1) можна знайти невідомими дві сили P та N_k :

$$P = \frac{(G - R \cos \alpha) f - R \sin \alpha}{f \sin \beta - \cos \beta}, \quad (2)$$

$$N_k = G - R \cos \alpha - P \sin \beta.$$

У процесі функціонування агрегату вплив одноосьового енергозасобу на копач репрезентує сила P . Зворотну реакцію копача на одноосьовий енергозасіб відтворює сила, яка рівна за модулем указаної, але протилежна за напрямом. Вертикальний складник цієї реакції становить сила N_t (див. рис. 1), яка й репрезентує бажане довантаження коліс одноосьового енергозасобу:

$$N_t = P \sin \beta \rightarrow \max. \quad (4)$$

Із вищевикладеного випливає, що вибір параметрів малогабаритного механізованого агрегату в складі копача, які входять до рівнянь (1–3), має здійснюватися в напрямі виконання вимоги (4).

У дослідженні прийнято такі параметри та рівні їх варіювання: $\alpha = 7$ град; $f = 0,1$; $\beta = 0 \dots 30$ град; $G = 1600 \dots 2800$ Н; $R = 500 \dots 1100$ Н.

Теоретичними дослідженнями встановлено, що збільшення кута β нахилу тяги причіпного механізму одноосьового енергозасобу призводить до зростання сили N_t , яка забезпечує додаткове навантаження на його колеса (рис. 2). Характер наведеної залежності є практично ліній-

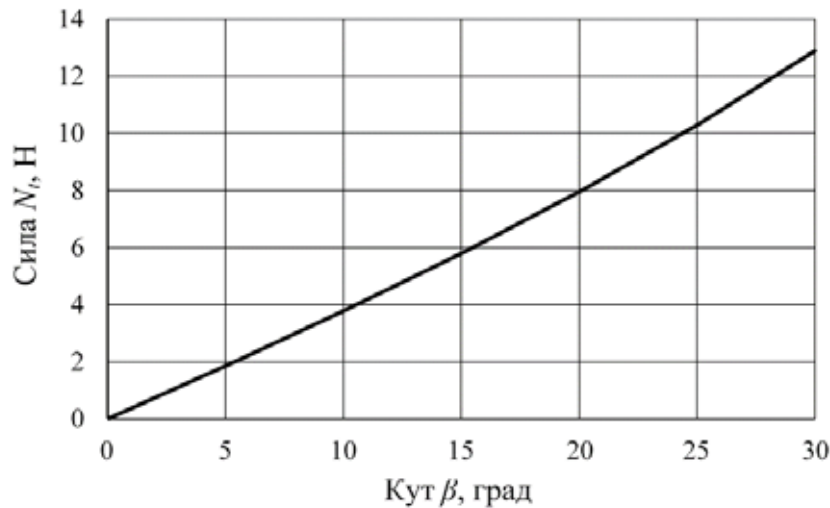


Рис. 2. Залежність сили N_i від кута β нахилу тяги причіпного механізму одноосьового енергозасобу

ним, а абсолютне зростання сили N_i становить 14 Н при збільшенні кута β до 30 град. На перший погляд, це незначна величина додаткового довантаження коліс одноосьового енергозасобу порівняно з його вагою. Однак варто враховувати можливість взагалі розвантаження його коліс унаслідок дії вертикальної реакції від тягового опору знаряддя типу копач, що працюють за принципом вертикального різання ґрунту. Тому вважаємо такий результат загалом приємним з погляду забезпечення достатнього зчеплення приводних коліс малогабаритного механізованого агрегату з ґрунтом.

Суттєвий вплив на величину довантаження коліс одноосьового енергозасобу здійснюють вага G копача та сила його тягового опору R . Проте характер залежностей від зазначених сил є інваріантним (рис. 3 і 4). Зі збільшенням ваги G копача вертикальна сила реакції N_i закономірно зменшується (рис. 3), оскільки менша частка загальної маси бере участь у перерозподілі ваги на опорних колесах агрегату. Водночас є критичне значення ваги G копача, перевищення якого спричиняє не довантаження, а розвантаження коліс енергозасобу. У межах дослідження встановлено, що при вазі копача 2200 Н і більше спостерігається ефект розвантаження. Це пояснюється тим, що зі збільшенням ваги копача та фіксованого значення його тягового опору відбувається такий перерозподіл маси малогабаритного механізованого агрегату, за якого більша її частина припадає на опорні колеса копача. При цьому вертикальний складник реакції тягового опору копача є відносно малим порівняно з його масою, що робить її недостатньою для забезпечення ефекту довантаження коліс одноосьового енергозасобу.

Інша картина спостерігається при збільшенні тягового опору R копача (рис. 4). У межах дослідження за малих значень тягового опору (500–900 Н) відбувається не довантаження, а навпаки – розвантаження коліс одноосьового енергозасобу. Однак зі збільшенням сили R понад 900 Н величина сили N_i пропорційно зростає (рис. 4). Це пояснюється тим, що значний тяговий опір, який виникає під час вертикального різання ґрунту, сприяє перерозподілу частини ваги копача на опорні колеса малогабаритного механізованого агрегату. Але, як зазначалося раніше, на цей процес також впливає вага G копача.

Водночас для отримання більшої величини тягового опору малогабаритного механізованого агрегату необхідно прямо пропорційно збільшувати вагу копача. Ураховуючи це, аналіз

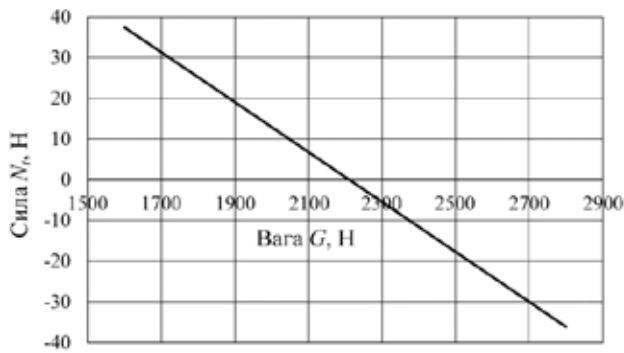
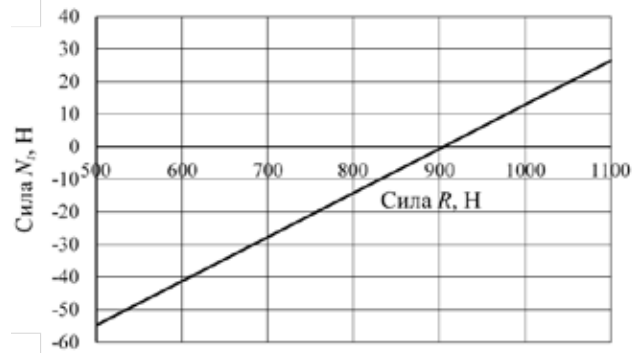
Рис. 3. Залежність сили N , від ваги G копачаРис. 4. Залежність сили N , від сили R тягового опору копача

рис. 3 та 4 свідчить, що за одночасної зміни цих параметрів загальний рівень довантаження коліс одноосового енергозасобу залишається майже незмінним і порівняно невеликим.

Так, більш ефективним способом впливу на ступінь довантаження коліс малогабаритного механізованого агрегату є зміна кута нахилу тяги причіпного механізму одноосового енергозасобу.

Висновки. Проведеними дослідженнями встановлено, що збільшення кута нахилу тяги причіпного механізму малогабаритного механізованого агрегату сприяє довантаженню коліс одноосового енергозасобу. При величині кута на рівні 30 град. додаткове навантаження на колеса одноосового енергозасобу зростає до 14 Н, що може мати вагоме значення для забезпечення стабільності руху малогабаритного механізованого агрегату.

Вага копача є важливим фактором, що визначає характер перерозподілу навантаження на колеса малогабаритного механізованого агрегату. При збільшенні ваги понад 2200 Н спостерігається розвантаження коліс одноосового енергозасобу, що може негативно впливати на його тягові характеристики.

При малому тяговому опорі копача до 900 Н відбувається розвантаження коліс одноосового енергозасобу, тоді як подальше зростання опору агрегату призводить до їх довантаження через перерозподіл ваги копача, що залежить також від його маси.

Отримані результати можуть бути використані для розроблення рекомендацій щодо проектування та експлуатації малогабаритних механізованих агрегатів у складі копачів, що дасть змогу підвищити їх продуктивність і тягово-зчіпні властивості в польових умовах.

Список використаних джерел

1. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Головач І. В., Гриник І. В. Малогабаритні сільськогосподарські машини. Конструкція, теорія і розрахунок : монографія. Київ : Аграрна наука, 2017. 292 с.
2. Кувачов В. П., Дружич В. М., Шевченко С. О., Зеленов К. О. Дослідження стійкості руху самохідної машини з робочими органами реактивного типу. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2024. 14(2). 15 с. <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-2-3>
3. Кувачов В. П., Дружич В. М., Шевченко С. О., Зеленов К. О. Теоретичні основи руху самохідної машини з робочими органами реактивного типу в системі точного землеробства. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2024. 14(1). 12 с. <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-1-4>.
4. Надикто В. Т., Кістечок О. Д. Дослідження стійкості руху орного агрегату у горизонтальній площині. *Науковий вісник НУБІП*. 2016. № 254. С. 268–274. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2016_254_28.
5. Bulgakov V., Ivanovs S., Nadykto V., Petrov G. Investigation of front plough functioning stability conditions without support wheel. *Engineering for Rural Development*. 2023. 22. P. 562–570. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF116>.



6. Nadykto V., Golub G., Kyurchev V., Tsyvenkova N. Determining vertical oscillations of front-plow tractor without support wheel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. 1(7). P. 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296842>.
7. Bulgakov V., Ivanovs S., Kaletnik H., Kuvachov V. Investigation of running depth stability in soil of frontally installed plough of ploughing aggregate assembled according to “push-pull” scheme. *Proceedings Engineering for rural development: 17 International Scientific Conference*. 2018. №17. P. 292–300. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N314>.
8. Овсянніков С. І. Мотоагрегати: шляхи підвищення тягово-зчіпних властивостей. *Вісник ХНТУСГ*. 2017. № 184. С. 78–80. https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/16329/1/184_17_TS_16.pdf

Стаття надійшла до редакції 21.02.2025 р.

V. Kuvachov¹, V. Druzhyh¹, S. Shevchenko¹, K. Zelenov¹

Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

RESEARCH ON THE IMPACT OF DIGGER PARAMETERS ON THE VERTICAL LOAD OF SMALL-SCALE MECHANIZED UNIT WHEELS

Summary

The relevance of the research lies in addressing the issue of deteriorating traction of small-scale agricultural machinery within digger systems due to the vertical component of the reactive resistance force during vertical soil cutting. The aim of the study is to improve the technical and operational performance of a small-scale mechanized unit consisting of a single-axle power tool and a digger by justifying its parameters. Based on the research findings, the influence of the vertical component of the digger's reactive force on the additional load of the single-axle power tool wheels was substantiated for the first time, and methods for optimizing the parameters of small agricultural units operating on the principle of vertical soil cutting were proposed. The obtained results can be used to develop recommendations for designing and operating small-scale mechanized units within digger systems, which will enhance their productivity and traction properties in field conditions.

Keywords: sustainable agricultural development, support for small farmers, technical innovations in the agricultural sector, agroengineering.