

ВЕСЕЛОВСЬКА Наталія

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9399-6721>e-mail: vnatalia@ukr.net

БУРЛАКА Сергій

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4079-4867>e-mail: ipserhiy@gmail.com

МЕТОДИ ТА ПРИЙОМУ КОМБІНУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КОМПЛЕКСНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

В роботі наведені методи, математичні моделі та алгоритми, за допомогою яких інженери та розробники можуть оптимізувати роботу ґрунтообробних машин і підвищити їх ефективність і продуктивність. Поєднання робочих органів у ґрунтообробних машинах можна оптимізувати за допомогою математичних залежностей, що призводить до підвищення якості виконання польових робіт.

Ключові слова: ґрунт, агрегат, модель, обробіток, математична модель, показники, ґрунтообробний агрегат каток, культиватор, робочі органи.

VESELOVSKA Nataliya, BURLAKA Serhiy

Vinnytsia National Agrarian University

METHODS AND TECHNIQUES COMBINATION WORKING BODIES OF COMPLEX SOIL PROCESSING MACHINES

The article establishes that the combination of working bodies in tillage machines can be optimized with the help of mathematical models and algorithms. These expressions provide valuable information about the performance of tillage machines and can be used to improve their efficiency and productivity. Using mathematical models and algorithms, engineers and inventors can optimize the design of tillage machines and improve their performance, leading to improved quality in field operations. In addition, the combination of working organs in tillage machines can also be analyzed using numerical simulation methods. These methods use mathematical models and algorithms to simulate the behavior of tillage machines in a virtual environment.

Numerical modeling techniques provide valuable information about the behavior of tillage machines and their components, allowing engineers and designers to optimize their design and increase productivity. Using numerical simulation techniques, engineers and designers can verify the mathematical models and algorithms used in the analysis of tillage machines and improve their accuracy and reliability.

Thus, the combination of working bodies in tillage machines can be analyzed and optimized with the help of mathematical models, algorithms and numerical modeling methods. These methods provide valuable information about the performance of tillage machines and can be used to improve their efficiency and productivity. Using these methods, engineers and designers can optimize the design of tillage machines and improve their performance, leading to increased efficiency and productivity in field operations. In addition, numerical modeling techniques can also be used to analyze the environmental impact of tillage. For example, modeling can be done to determine the impact of tillage on soil erosion and greenhouse gas emissions. By analyzing the results of this simulation, engineers and designers can improve the sustainability of tillage operations and reduce their environmental impact.

Keywords: soil, aggregate, model, tillage, mathematical model, indicators, soil tillage aggregate roller, cultivator, working bodies.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Комбінування робочих органів складних ґрунтообробних машин передбачає поєднання кількох ґрунтообробних знарядь в одній машині для підвищення ефективності та продуктивності польових робіт. Нижче наведено деякі способи і прийоми з'єднання робочих органів ґрунтообробних машин.

Механічна інтеграція: цей метод передбачає фізичне кріплення інструментів для обробки ґрунту до рами машини. Цей метод зазвичай використовується для знарядь обробки ґрунту, таких як плуги, культиватори та борони. Механічна інтеграція забезпечує точне розташування знарядь для обробки ґрунту та синхронізацію їх руху з рухом машини.

Гідравлічна інтеграція: у цьому методі використовуються гідравлічні циліндри для керування положенням і рухами знарядь для обробки ґрунту. Гідравлічна система підключена до системи керування машиною, що дозволяє оператору регулювати глибину обробітку ґрунту та робочий кут знарядь.

Пневматична інтеграція: цей метод використовує стиснене повітря для керування положенням і рухами знарядь для обробки ґрунту. Пневматичні системи зазвичай використовуються для інструментів для обробки ґрунту, таких як сівалки, які потребують точного контролю глибини та відстані розміщення насіння.

Електромеханічна інтеграція: цей метод поєднує в собі механічні та електричні системи для керування положенням і рухами знарядь для обробки ґрунту. Електромеханічні системи використовують датчики, приводи та схеми керування для керування інструментами для обробки ґрунту, забезпечуючи високий рівень точності та контролю.

Системи автоматичного керування: системи автоматичного керування використовуються для керування рухами та роботою знарядь для обробки ґрунту. Ці системи використовують датчики та

алгоритми керування для регулювання глибини обробітку ґрунту та робочого кута знарядь у режимі реального часу залежно від умов поля.

Таким чином, комбінування робочих органів складних ґрунтообробних машин дозволяє підвищити ефективність і продуктивність польових робіт.

Аналіз останніх джерел

Вибір методу або техніки залежить від конкретних вимог до ґрунтообробних знарядь і типу польових операцій, які необхідно виконати. Незалежно від використовуваного методу, інтеграція ґрунтообробних знарядь в одну машину зменшує кількість необхідних проходів у полі, економить час і зменшує загальні витрати на операції з обробки ґрунту.

Підсумовуючи, за допомогою математичних моделей і рівнянь можна проаналізувати та оптимізувати поєднання робочих органів у ґрунтообробних машинах. Ці моделі та рівняння дають цінну інформацію про продуктивність ґрунтообробних машин і можуть бути використані для підвищення їх ефективності та продуктивності. Використовуючи математичні моделі та рівняння, інженери та дизайнери можуть оптимізувати конструкцію ґрунтообробних машин і покращити їх продуктивність, що призведе до підвищення ефективності та продуктивності в польових роботах.

Окрім наведених вище формул, існують інші математичні моделі та алгоритми, які можна використовувати для оптимізації продуктивності ґрунтообробних машин. Деякі з них включають:

Алгоритми оптимального керування: ці алгоритми використовують математичні моделі ґрунтообробних машин для визначення оптимальної глибини та кута знарядь для обробки ґрунту для заданих умов поля. Алгоритми використовують методи оптимізації, такі як лінійне програмування, динамічне програмування та градієнтний спуск, щоб визначити оптимальні налаштування знарядь для обробки ґрунту.

Моделі ерозії ґрунту: ці моделі використовують математичні рівняння для прогнозування рівня ерозії ґрунту, що відбувається під час операцій з обробітку ґрунту. Моделі враховують такі фактори, як тип ґрунту, нахил та інтенсивність обробки ґрунту, щоб передбачити ступінь ерозії ґрунту, яка відбувається під час операцій з обробки ґрунту.

Моделі ущільнення ґрунту: ці моделі використовують математичні рівняння для прогнозування ступеня ущільнення ґрунту, яке відбувається під час операцій з обробітку ґрунту. Моделі враховують такі фактори, як тип ґрунту, інтенсивність обробітку ґрунту та вага ґрунтообробної машини, щоб передбачити ступінь ущільнення ґрунту, яке відбувається під час операцій з обробітку ґрунту.

Моделі продуктивності машин: ці моделі використовують математичні рівняння для прогнозування продуктивності ґрунтообробних машин на основі їх конструкції та умов експлуатації. Моделі можуть бути використані для оптимізації конструкції ґрунтообробних машин та підвищення їх продуктивності.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження методів та прийомів комбінування робочих органів комплексних ґрунтообробних машин

Виклад основного матеріалу

Комбінація робочих органів складних ґрунтообробних машин може бути математично змодельована та проаналізована для оптимізації їх продуктивності. Нижче наведено деякі математичні формули, які використовуються при проектуванні та аналізі ґрунтообробних машин.

Аналіз сили та крутного моменту: сили та крутні моменти, що діють на ґрунтообробні інструменти під час роботи, можна розрахувати за допомогою наступних рівнянь:

$$F = ma \quad (1)$$

$$T = Fr \quad (2)$$

де F - сила, m - маса ґрунтообробного знаряддя, a - прискорення, T - крутний момент, r - відстань від осі обертання.

Аналіз потоку ґрунту: потік ґрунту через інструменти для обробки можна проаналізувати за допомогою наступного рівняння:

$$Q = Av \quad (3)$$

де Q - швидкість потоку, A - площа поперечного перерізу ґрунтообробного знаряддя, v - швидкість руху ґрунту.

Аналіз розміщення часток ґрунту: розміщення часток ґрунту можна проаналізувати за допомогою наступного рівняння:

$$\Delta x = (Vt) + \left(\frac{1}{2}at^2\right) \quad (4)$$

де Δx - переміщення насіння з бажаного положення, V - початкова швидкість насіння, t - час, a - прискорення насіння.

Аналіз енергії: Енергію, необхідну для виконання операцій з обробки ґрунту, можна розрахувати за допомогою наступного рівняння:

$$E = Fd \quad (5)$$

де E - енергія, F - сила, d - відстань, яку переміщує ґрунтообробний інструмент.

Деякі з методів чисельного моделювання, які використовуються в аналізі ґрунтообробних машин, включають:

Аналіз кінцевих елементів (FEA): цей метод використовує математичні рівняння для моделювання поведінки ґрунтообробних машин та їх компонентів за різних навантажень і умов. FEA можна використовувати для прогнозування напружень і деформацій на ґрунтообробних інструментах, а також прогинів і вібрацій компонентів машини.

Метод дискретних елементів (DEM): Цей метод використовує математичні моделі для моделювання поведінки окремих частинок ґрунту під час їх взаємодії з інструментами для обробки ґрунту. DEM можна використовувати для прогнозування розподілу частинок ґрунту після операцій з обробітку ґрунту, а також сил і крутних моментів, створених знаряддями для обробки ґрунту.

Обчислювальна гідродинаміка (CFD): цей метод використовує математичні моделі для імітації потоку ґрунту та інших рідин через інструменти для обробки ґрунту. CFD можна використовувати для прогнозування розподілу ґрунту та рідини в машині та для оптимізації конструкції знарядь для обробки ґрунту.

Наприклад, для дослідження комбінованого ґрунтообробного агрегату, що складається з барабана, лап, зубчастого колеса Crosskill, пластинчастого барабана та дошки необхідно виконати ряд дій.

Для моделювання такого поєднання робочих органів у ґрунтообробній машині методами чисельного моделювання можна виконати такі дії:

Моделювання компонентів машини: Першим кроком є створення математичних моделей решітчастого барабана, ніжок столу, зубчастого кільцевого ролика Crosskill і пластинчастого ролика. Це можна зробити за допомогою методів геометричного моделювання та може включати моделювання форми та розміру компонентів, а також їхніх властивостей матеріалів.

Визначення параметрів ґрунту та машини: наступним кроком є визначення параметрів ґрунту та машини, таких як тип ґрунту, вологість ґрунту, швидкість машини та вага машини. Ці параметри впливатимуть на поведінку машини, і їх потрібно буде враховувати під час моделювання.

Налаштування моделювання: налаштування моделювання включатиме визначення граничних умов, таких як початкове положення машини, і встановлення параметрів моделювання, таких як часовий крок і максимальний час моделювання.

Симуляційний запуск: моделювання використовуватиме математичні моделі та алгоритми для моделювання поведінки компонентів машини та ґрунту, коли вони взаємодіють один з одним. Моделювання дозволить передбачити напруги та деформації на компонентах машини, а також розподіл частинок ґрунту після операцій з обробки ґрунту.

Перевірка та оптимізація: результати моделювання можна перевірити на експериментальних даних і використати для оптимізації конструкції компонентів машини. Це може включати оптимізацію форми та розміру компонентів, а також властивостей їх матеріалів для покращення продуктивності ґрунтообробної машини.

За допомогою чисельних методів моделювання можна змодельовати поєднання робочих органів ґрунтообробної машини та оптимізувати її роботу. Результати моделювання можуть дати цінну інформацію про поведінку машини та можуть бути використані для підвищення її ефективності та продуктивності.

Підбір робочих органів комбінованого ґрунтообробного агрегату можна здійснити за допомогою методу кінцево-елементного аналізу (FEA). Для вибору оптимальної комбінації робочих органів за допомогою МКЕ можна використовувати такі математичні формули:

Щільність енергії деформації (SED): Щільність енергії деформації (SED) можна розрахувати за допомогою рівняння:

$$SED = (\sum \sigma_i \varepsilon_i) / 2 \quad (6)$$

де σ_i та ε_i – напруги та деформації, відповідно, в елементі i компонента машини. SED являє собою кількість енергії, збереженої в компоненті через деформацію, і може використовуватися для оцінки продуктивності компонента машини.

Напруга Фон Мізеса (σ_{vm}): Напруга фон Мізеса (σ_{vm}) можна розрахувати за допомогою рівняння:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3)} \quad (7)$$

де σ_1 , σ_2 і σ_3 – головні напруження в деталі машини. Напруга Фон Мізеса представляє загальну напругу в компоненті і може бути використана для оцінки ризику відмови.

Нормований коефіцієнт концентрації напруги (K_i): Нормований коефіцієнт концентрації напруги (K_i) можна розрахувати за допомогою рівняння:

$$K_i = \sigma_{vm} / \sigma_a \quad (8)$$

де σ_{vm} – напруга фон Мізеса, а σ_a – прикладена напруга в компоненті. Нормований коефіцієнт концентрації напруги представляє величину концентрації напруги в компоненті та може використовуватися для оцінки ризику відмови.

Нормована щільність енергії деформації (SED_n): нормалізована щільність енергії деформації (SED_n)

може бути розрахована за допомогою рівняння:

$$SED_n = SED/V_0 \quad (9)$$

де SED – густина енергії деформації, а V_0 – об'єм компонента. Нормована щільність енергії деформації являє собою кількість енергії, збереженої в компоненті на одиницю об'єму, і може бути використана для оцінки продуктивності компонента машини.

Використовуючи ці математичні формули, можна оцінити продуктивність різних комбінацій робочих органів і підібрати оптимальну комбінацію, виходячи з бажаних критеріїв ефективності, таких як глибина обробітку ґрунту, структура ґрунту та ефективність. Результати моделювання дають цінну інформацію про поведінку машини та можуть бути використані для підвищення її ефективності та продуктивності.

Комбінований ґрунтообробний агрегат можна оптимізувати для конкретних умов ґрунту та вимог до обробки ґрунту за допомогою методів чисельного моделювання та математичних формул. Наприклад, глибину обробітку ґрунту можна оптимізувати за такою формулою:

$$T = (LF_a C_d) / (\rho_s g) \quad (10)$$

де T – глибина обробітку ґрунту, L – довжина робочого органу, F_a – прикладена сила, C_d – коефіцієнт опору, ρ_s – щільність ґрунту, g – прискорення сили тяжіння. Оптимізацію глибини обробітку ґрунту можна здійснити шляхом варіювання таких параметрів, як довжина робочого органу та прикладеного зусилля, та оцінки впливу на глибину обробітку ґрунту методами чисельного моделювання.

Наприклад, підставляючи вибіркові дані можна оптимізувати глибину обробітку агрегату та підібрати найбільш компактний та економічний варіант комплектування. Дані такого підбору наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Оптимізація глибини обробітку комбінованого ґрунтообробного агрегату

| Довжина робочого органу (L) | Прикладена сила (F_a) | Коефіцієнт опору (C_d) | Щільність ґрунту (ρ_s) | Прискорення сили тяжіння (g) | Глибина обробки ґрунту (T) |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 0.5 м | 600 Н | 0.35 | 1500 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.12 м |
| 0.6 м | 650 Н | 0.36 | 1550 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.14 м |
| 0.7 м | 700 Н | 0.37 | 1600 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.16 м |
| 0.8 м | 750 Н | 0.38 | 1650 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.18 м |
| 0.9 м | 800 Н | 0.39 | 1700 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.19 м |
| 1 м | 850 Н | 0.4 | 1750 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.21 м |
| 1.1 м | 900 Н | 0.41 | 1800 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.22 м |
| 1.2 м | 950 Н | 0.42 | 1850 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.24 м |
| 1.3 м | 1000 Н | 0.43 | 1900 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.25 м |
| 1.4 м | 1050 Н | 0.44 | 1950 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.27 м |
| 1.5 м | 1100 Н | 0.45 | 2000 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.28 м |
| 1.6 м | 1150 Н | 0.46 | 2050 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.30 м |
| 1.7 м | 1200 Н | 0.47 | 2100 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.31 м |
| 1.8 м | 1250 Н | 0.48 | 2150 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.33 м |
| 1.9 м | 1300 Н | 0.49 | 2200 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.34 м |
| 2 м | 1350 Н | 0.5 | 2250 кг/м ³ | 9.8 м/с ² | 0.36 м |

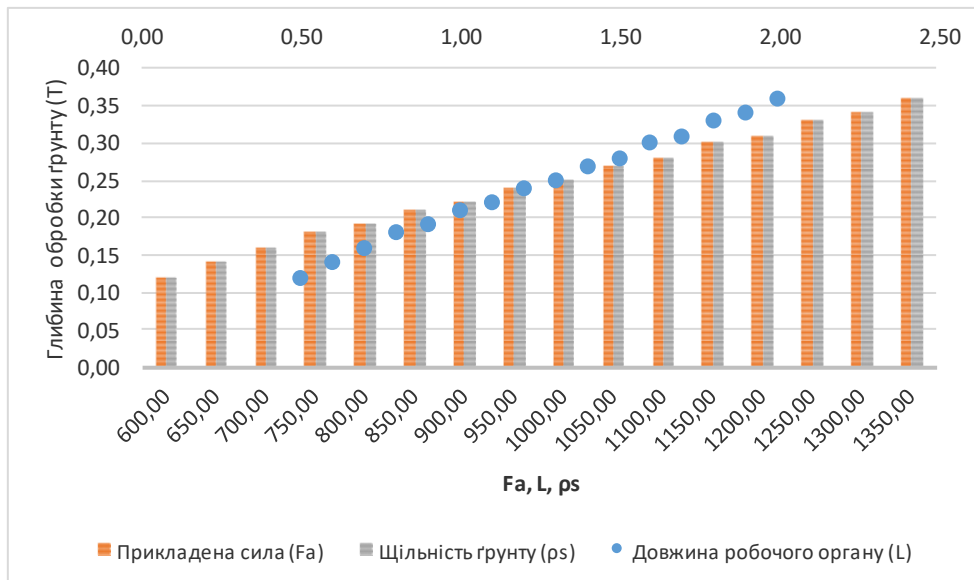


Рис. 1. Графіки оптимізації глибини обробки ґрунту від конструктивних особливостей агрегату

Іншим важливим фактором, який слід враховувати, є структура ґрунту, на яку може вплинути обробіток ґрунту. Структуру ґрунту можна оцінити за формулою середнього вагового діаметра (MWD):

$$MWD = \sqrt{(\sum (d_i^3) / n) / (\sum (d_i) / n)^{3/2}} \quad (11)$$

де d_i – діаметр ґрунтового агрегату i , а n – загальна кількість ґрунтових агрегатів. MWD представляє середній розмір ґрунтових агрегатів і може бути використаний для оцінки впливу обробки ґрунту на структуру ґрунту. Оптимізацію структури ґрунту можна здійснити підбором оптимальної комбінації робочих органів з урахуванням бажаної ММР.

Зрештою, ефективність комбінованого ґрунтообробного агрегату можна оцінити за формулою питомої енергії:

$$E = (F_a L) / (Vt) \quad (12)$$

де E – питома енергія, F_a – прикладена сила, L – довжина робочого органу, V – об'єм обробітку, t – час обробітку. Питома енергія являє собою енергію, необхідну для обробки одиниці об'єму ґрунту, і може бути використана для оцінки ефективності машини. Оптимізацію ККД можна здійснити підбором оптимальної комбінації робочих органів з урахуванням бажаної питомої енергії.

Використовуючи ці методи, можна розробити та оптимізувати комбінований ґрунтообробний агрегат для покращення продуктивності та продуктивності.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Підводячи підсумки, можна стверджувати, що методи чисельного моделювання є потужним інструментом для аналізу та оптимізації комбінації робочих органів у ґрунтообробних машинах. Вони дозволяють інженерам моделювати поведінку машини та ґрунту та оптимізувати конструкцію компонентів. Крім того, методи чисельного моделювання можна використовувати для аналізу впливу операцій з обробітку ґрунту на структуру ґрунту, родючість і навколишнє середовище, надаючи цінну інформацію про стійкість операцій з обробітку ґрунту.

Також при підборі оптимальної комбінації важливо враховувати міцність і довговічність робочих органів. Довговічність можна оцінити, враховуючи такі фактори, як кількість циклів, величина навантажень і наявність будь-яких гострих країв або кутів, які можуть збільшити ризик поломки. Життєвий цикл компонентів машини можна оцінити за допомогою аналізу втоми, який передбачає кількість циклів до відмови на основі прикладених навантажень і властивостей матеріалів компонентів.

Література

1. Булгаков В.М., Адамчук В.В. Стан та перспективи створення в Україні сучасних сільськогосподарських машин. Наук. вісник Луганського нац. аграр. ун-ту. 2011. 29. С. 252–260.
2. Rutkevych V., Kupchuk I., Yaropud V., Hraniak V., Burlaka S. Numerical simulation of the liquid distribution problem by an adaptive flow distributor. Przegląd Elektrotechniczny. 2022. Vol. 98 (2). P. 64-69.
3. Войтюк Д.Г., Барановський М.В., Булгаков В.М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. К. : Вища освіта, 2005. 464 с.
4. Honcharuk I., Kupchuk I., Yaropud V., Kravets R., Burlaka S., Hraniak V., Poberezhets Ju., Rutkevych V. Mathematical modeling and creation of algorithms for analyzing the ranges of the amplitude-frequency response

of a vibrating rotary crusher in the software Mathcad. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98 (9). P. 14-20.

5. Гунько І.В., Бурлака С.А. Оцінка енергетичних показників ґрунтообробного агрегата. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 2 (117). С. 47-52.

6. Веселовська Н.Р., Руткевич В.С., Шаргородський С.А. Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування : навч. посіб. Вінниця : 2019. 234 с.

7. Бурлака С.А. Алгоритм функціонування машинно-тракторного агрегату з використанням системи живлення зі змішувачем палив. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2022. № 1 (305). С. 140-144.

8. Калетник Г.М., Зарішняк А.С., Адамчук В.В., Булгаков В.М. Землеробська механіка – теоретична база сучасної землеробської техніки. *Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвід. темат. наук. зб.* 2013. Т. 1. Вип. 98. С. 31–44.

9. Серета Л.П., Швець Л.В. Розробка культиватора для нових технологій обробітку ґрунту. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. 3(110). С. 117–125.

References

1. Bulhakov V.M., Adamchuk V.V. Stan ta perspektyvy stvorennia v Ukraini suchasnykh silskohospodarskykh mashyn. *Nauk. visnyk Luhanskoho nats. ahrar. un-tu*. 2011. 29. S. 252–260.

2. Rutkevych V., Kupchuk I., Yaropud V., Hraniak V., Burlaka S. Numerical simulation of the liquid distribution problem by an adaptive flow distributor. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98 (2). P. 64-69.

3. Voitiuk D.H., Baranovskyi M.V., Bulhakov V.M. *Silskohospodarski mashyny. Osnovy teorii ta rozrakhunku*. K. : Vyscha osvita, 2005. 464 s.

4. Honcharuk I., Kupchuk I., Yaropud V., Kravets R., Burlaka S., Hraniak V., Poberezhets Ju., Rutkevych V. Mathematical modeling and creation of algorithms for analyzing the ranges of the amplitude-frequency response of a vibrating rotary crusher in the software Mathcad. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98 (9). R. 14-20.

5. Hunko I.V., Burlaka S.A. Otsinka enerhetychnykh pokaznykiv ґрунтообробного ahrehata. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. 2022. № 2 (117). S. 47-52.

6. Veselovska N.R., Rutkevych V.S., Sharhorodskyi S.A. *Tekhnolohichni osnovy silskohospodarskoho mashynobuduvannia : navch. posib*. Vinnytsia : 2019. 234 s.

7. Burlaka S.A. Alhorytm funktsionuvannia mashynno-traktornoho ahrehatu z vykorystanniam systemy zhyvlennia zi zmishuvachem palyv. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky*. 2022. № 1 (305). S. 140-144.

8. Kaletnik H.M., Zaryshniak A.S., Adamchuk V.V., Bulhakov V.M. Zemlerobska mekhanika – teoretychna baza suchasnoi zemlerobskoï tekhniki. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva : mizhvid. temat. nauk. zb.* 2013. Т. 1. Vyp. 98. S. 31–44.

9. Sereta L.P., Shvets L.V. Rozrobka kultyvatora dlia novykh tekhnolohii obrobittku ґрунту. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. 2020. 3(110). С. 117–125.