

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОТАЦІЙНИХ ГРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ І ДЕМПФУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Храмов М.С., асистент

Миколаївський національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2537-7344>

Суковіцина І.М., асистентка

Миколаївський національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5201-7830>

Анотація: Обґрунтовано конструктивні рішення для підвищення надійності ротаційних ґрунтообробних агрегатів за змінних і ударних навантажень. Досліджено вплив геометрії та матеріалів ножів, параметрів передач і демпферів на опір ґрунту, вібрації, зношування, довговічність і енергоефективність. Експерименти виконано з трактором John Deere 8370R і фрезою Kuhn EL 402 R, моделювання – у EDEM. Визначено раціональні параметри ножів і доцільність зносостійких матеріалів та гумометалевих демпферів, що знижує вібрації, опір ґрунту та підвищує ресурс вузлів.

Ключові слова: ротаційні ґрунтообробні агрегати, міцність матеріалу, геометрія ножів, матеріали ножів, композитні матеріали.

Постановка проблеми. Ротаційні ґрунтообробні агрегати належать до машин із найбільш напруженим режимом роботи, оскільки процес взаємодії робочих органів із ґрунтом має стохастичний характер [1]. Неоднорідність механічного складу, змінна вологість, наявність твердих включень (каміння, кореневі рештки), хвилястість мікрорельєфу орного шару зумовлюють виникнення ударних, циклічних і вібраційних навантажень на ножі, ротор, вузли кріплення та елементи трансмісії. У реальних умовах експлуатації ці навантаження мають імпульсний характер і часто перевищують розрахункові статичні значення у 1,5-2 рази, що призводить до: прискореного абразивного та ударного зношування ножів; виникнення втомних тріщин у місцях концентрації напружень; розхитування болтових з'єднань і підвищення люфтів у передачах; зростання вібрацій і динамічних втрат потужності; погіршення якості кришіння та перемішування ґрунту; підвищення витрат палива і зниження продуктивності.

Аналіз існуючих конструкцій показує, що під час проектування часто оптимізується лише форма ножа або міцність матеріалу, тоді як реальна стійкість агрегату визначається сукупністю факторів: геометрією робочого органа, радіусом його кривизни, кутом атаки, властивостями матеріалу, параметрами кріплення, типом передач і наявністю елементів демпфування. Відсутність комплексного підходу призводить до того, що навіть високоякісні матеріали не забезпечують очікуваної довговічності через локальні перевантаження та

резонансні явища [2]. Особливої актуальності набуває використання сучасних методів моделювання взаємодії «грунт-робочий орган», які дозволяють дослідити напружено-деформований стан і траєкторії руху частинок ґрунту без виготовлення великої кількості дослідних зразків. Такий підхід створює передумови для раціонального підбору конструктивних параметрів, що мінімізують динамічні перевантаження і підвищують надійність машини в реальних польових умовах.

Виклад основного матеріалу досліджень. Експериментальні та розрахункові дослідження виконано з використанням трактора John Deere 8370R компанії John Deere у агрегаті з ротаційною фрезою Kuhn EL 402 R виробництва KUHN Group. Досліди проводилися на супіщано-глинистому ґрунті з вологістю $11 \pm 0,89$ %. Для аналізу мікровзаємодії частинок ґрунту з ножами застосовано DEM-моделювання у програмному середовищі EDEM. У процесі досліджень послідовно варіювали: кут атаки ножів; радіус кривизни робочої поверхні; схему розташування лопатей на роторі; матеріал виготовлення ножів; типи болтових з'єднань і передач; наявність пружинних та демпфуючих елементів.

Геометрія ножів. Моделювання та польові випробування показали, що при куті атаки менше 20° спостерігається ковзання ножа по ґрунту без інтенсивного кришіння, а при перевищенні 30° різко зростає опір і навантаження на вал ротора. Діапазон $20-30^\circ$ забезпечує оптимальний режим різання і перемішування. Збільшення радіуса кривизни ножа понад 50 мм суттєво знижує концентрацію напружень у зоні переходу від леза до тіла ножа, що зменшує ймовірність утворення втомних тріщин. Раціональна форма робочих органів дозволила знизити питомий опір ґрунту до 1500 Н/м^2 .

Матеріали ножів. Порівняння показало, що високовуглецева сталь AISI 1080 забезпечує прийнятний баланс твердості та ударної в'язкості. Керамічні композити на основі ZrB_2 демонструють ще кращу зносостійкість в абразивному середовищі [5]. Термічна обробка (гартування, цементація) дозволяє знизити інтенсивність зношування на 30-40 %. Середній ресурс ножів при цьому зростав до 2000-2500 год.

Передачі та кріплення. Використання легованих сталей у зубчастих передачах і болтових з'єднаннях підвищує їхню стійкість до змінних крутних моментів. Гіпоїдні та спіральні-циліндричні передачі зменшують втрати на тертя та рівень шуму, що позитивно впливає на довговічність вузлів.

Демпфування навантажень. Введення у вузли кріплення ножів пружин стиснення, торсійних і листових пружин дозволяє частково поглинати пікові ударні навантаження. Додаткове застосування гумометалевих амортизаторів і динамічних демпферів енергією 5-6 Дж забезпечило зниження рівня вібрацій на 25-30 %. Це призвело до зменшення динамічних перевантажень у місцях кріплення та подовження ресурсу вузлів на 20-30 %.

DEM-моделювання. Чисельні експерименти в EDEM дозволили встановити раціональне поєднання параметрів «кут атаки частота обертання властивості ґрунту», що мінімізує перевантаження і енергоспоживання без виготовлення численних прототипів. Отримані моделі добре корелювали з результатами польових досліджень [3]. Узагальнення результатів дало змогу обґрунтувати

оптимальні параметри агрегату: ширина захоплення 1,5-4,0 м; глибина 10-30 см; діаметр ротора 0,5-0,8 м; частота обертання 200-350 об/хв; робоча швидкість 6-12 км/год. Таке поєднання параметрів забезпечує стійку роботу агрегату при мінімальних вібраціях і раціональному енергоспоживанні.

Висновки. Комплексна оптимізація геометрії робочих органів, вибору матеріалів, параметрів передач та впровадження демпфуючих елементів забезпечує істотне підвищення надійності та стійкості ротаційних ґрунтообробних агрегатів у змінних умовах роботи. Найбільший ефект досягається при поєднанні кута атаки 20-30°, радіуса кривизни понад 50 мм, використанні зносостійких матеріалів (AISI 1080, ZrB₂-композити) та гумометалевих/динамічних демпферів, що дозволяє знизити вібрації, енергоспоживання та підвищити ресурс роботи вузлів агрегату.

Список використаних джерел

1. Marchenko, D., & Kurepin, V. (2021). Regularities in the formation of wear-resistant coatings on steel samples when machining them with electrical discharge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(12(113)), 83-90. DOI : 10.15587/1729-4061.2021.243374.
2. Dubovoy, O.M., Karpechenko, A.A., Bobrov, M.M., Gerasin, O.S., & Lyman, O.O. (2021). Electric arc spraying of cermet coatings of steel 65G-TiC system. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 63-68. DOI: 10.33271/nvngu/2021-2/063.
3. Hruban V., Panfilova A., Galeeva A., Khramov M. Optimisation of structural parameters of rotary tillage units to increase the stability of operation under the influence of variable loads (2025) *Machinery&Energetics* vol. 16, №1. DOI: 10.31548/machinery/1.2025.65

Abstract: The design solutions for increasing the reliability of rotary tillage units under variable and shock loads were substantiated. The influence of the geometry and materials of the knives, the parameters of the gears and dampers on the soil resistance, vibration, wear, durability and energy efficiency was investigated. The experiments were performed with the John Deere 8370R tractor and the Kuhn EL 402 R milling cutter, modeling was performed in EDEM. The rational parameters of the knives and the feasibility of wear-resistant materials and rubber-metal dampers were determined, which reduces vibrations, soil resistance and increases the resource of the units.

Keywords: rotary tillage units, material strength, knife geometry, knife materials, composite materials.