

Механізація, електрифікація

УДК 631.37

© 2020

ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЬОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОСТОВОГО АГРОЗАСОБУ

В.М. Булгаков¹, В.В. Адамчук², В.П. Кувачов³,
І.В. Головач⁴, Є.І. Ігнат'єв⁵

^{1, 2}доктори технічних наук, професори, академіки НААН

^{3, 5}кандидати технічних наук

⁴доктор технічних наук, професор

^{1, 4}Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

²Національний науковий центр «Інститут механізації та
електрифікації сільського господарства»

вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Васильківського р-ну Київської обл., 08631, Україна

^{3, 5}Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного

пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь Запорізької обл., 72312, Україна

e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²vvadamchuk@gmail.com, ³kuvachoff@ukr.net,

⁴holovach.iv@gmail.com, ⁵yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua

ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-0358-7946,

⁴0000-0003-1387-4789, ⁵0000-0003-0315-1595

Надійшла 2.06.2020

Мета. Оцінити технічну реалізацію і виробничу ефективність мостових засобів механізації для колійної системи землеробства в технологічних процесах обробітку ґрунту та внесення технологічних матеріалів на прикладі агрозасобу з розробленою нами конструкцією. **Методи.** Експериментальні дослідження проводили як за загальноприйнятими, так і за розробленими методиками з використанням сучасного тензометричного і контрольно-вимірювального обладнання з аналогово-цифровим перетворенням сигналів від датчиків інформації. **Результати.** За результатами експериментальних досліджень мостового агрозасобу у складі сільськогосподарських знарядь для поверхневого обробітку ґрунту доведена висока пристосованість до виконання технологічних процесів з обробітку ґрунту. Побудовано порівняльні графіки нормованих кореляційних функцій і нормованих спектральних щільностей профілів нерівностей слідів постійної технологічної колії і профілів нерівностей агрофонів після проходження зубової борони, S-подібного пружинного розпушувача, а також ротаційної борони. На їх підставі встановлено, що робота сільськогосподарських знарядь для поверхневого обробітку ґрунту добре позначається на характері нерівномірності коливань їх

тягового опору. Висновки. Основним генератором формування нерівностей поздовжнього профілю ґрунтових слідів постійної технологічної колії є параметри ґрунтозачепів шин коліс мостового агрозасобу. Коливання нерівностей профілів оброблених агрофонів мостовим агрозасобом із начіпленими сільськогосподарськими знаряддями (S-подібним пружинним розпушувачем і ротаційною бороною) є більш плавними у результаті руху агрозасобу по ущільнених слідах постійної технологічної колії, профіль нерівностей якої має більш низькочастотний характер. Якість обробітку ґрунту агрегатами на основі мостового агрозасобу приблизно така сама, як і в аналогічних традиційних машинно-тракторних агрегатах. Але питомі витрати енергії на 1 га оброблюваної площі новими агрегатами нижчі на 40%.

Ключові слова: мостовий агрегат, постійна технологічна колія, нормована кореляційна функція, кореляційно-спектральні характеристики.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202009-06>

Сталий високоефективний розвиток колійного і мостового землеробства у світі можливий за умови широкого впровадження досягнень науково-технічного прогресу [1–6]. При цьому проблема пошуку нових ґрунтообробних робочих органів, машин і знарядь для їх ефективного використання у колійній і мостовій системах землеробства стає вкрай актуальною [7, 8]. Представниками сімейства ґрунтообробних машин, що використовуються у колійному і мостовому землеробстві, є сільськогосподарські знаряддя для поверхневого обробітку ґрунту. Функціональні можливості їх застосування у технологіях мінімального обробітку ґрунту можуть забезпечити: розпушування поверхневого шару до його структурованого стану без виведення вологи на поверхню; стійкість при використанні робочих органів по глибині; високу якість обробітку ґрунту тощо [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Унесок у розвиток і популяризацію колійного і мостового землеробства нині роблять учені всього світу [8, 10–12]. Опубліковані ними матеріали можна умовно розділити на кілька категорій. До першої слід віднести загальні проблемні статті [8], у яких викладено проблематику і окреслено основні напрями розв'язання проблем. На відміну від публікацій загального характеру, в яких проблеми розглядають системно і не завжди враховують можливість практичної реалізації запропонованих рішень, певну значущість мають роботи, автори

яких спробували практично реалізувати мостові агрегати [8]. Створення дослідних зразків машин наштовхується на труднощі, а конкретні моделі не завжди відповідають усім висунутим до них вимогам. Водночас у таких публікаціях, як правило, недостатньо відображено результати експериментальних досліджень мостових агрозасобів. Особливою категорією є авторські свідчення та патенти на винаходи [8, 13–17]. Цей вид діяльності не завжди дає плідні практичні результати. Дуже часто виявляється, що ідеї створення нових робочих органів для мостового і колійного землеробства далекі від реальності й навіть при поверхневому аналізі виявляється їх економічна або технічна неспроможність [8]. У такій ситуації детальний аналіз проведених експериментальних випробувань сільськогосподарських машин і знарядь в агрегатах колійного і мостового землеробства, а також здобутий практичний досвід має для науки велике значення.

Мета досліджень — оцінити технічну реалізацію та виробничу ефективність мостових засобів механізації для колійної системи землеробства в технологічних процесах обробітку ґрунту та внесення технологічних матеріалів на прикладі агрозасобу з розробленою нами конструкцією.

Матеріали та методи досліджень. Експериментальні дослідження проводили як за загальноприйнятими, так і за розробленими методиками. Методологія експериментів

передбачала використання сучасного тензометричного і контрольно-вимірювального обладнання з аналогово-цифровим перетворенням сигналів від датчиків інформації. Обробку експериментальних даних здійснювали на ПК із застосуванням теорії ймовірностей, регресійного та кореляційно-спектрального аналізу.

У процесі виконання експериментів передбачалося визначити такі характеристики: коливань поздовжнього профілю нерівностей слідів постійної технологічної колії і нерівностей агрофону до і після обробки мостовим агрегатом, вологості та щільності ґрунту, глибини обробки й коливань тягового опору сільськогосподарських знарядь.

Нормована кореляційна функція $\rho(h)$ вимірювальних параметрів розраховувалася за рекомендаціями [18]:

$$\rho(h) = \frac{1}{D_h(n-m)} \sum_{i=1}^{n-m} (h_i - m_h) \cdot (h_{i+m} - m_h), \quad (1)$$

де n — кількість вимірювань; m — кількість точок кореляційної функції, $m = 0, 1, 2, \dots, 10$; h_i — значення досліджуваного параметра, $i = 1, m$; m_h — математичне сподівання вимірювального параметра; D_h — дисперсія вимірювального параметра.

Нормована спектральна щільність вимірювальних параметрів $s(\omega)$ розраховувалася за рекомендаціями [18, 19]:

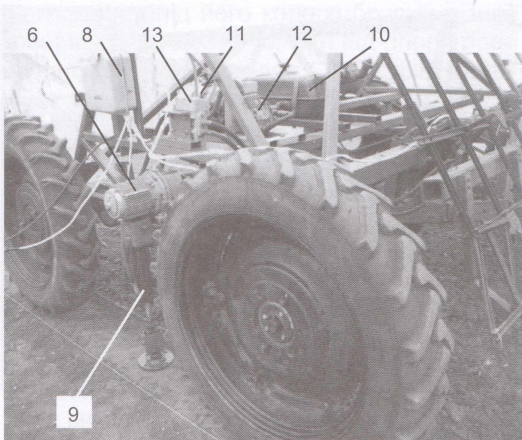
$$s(\omega) = \frac{\Delta l}{\pi} \left[1 + 2 \sum_{i=1}^m \rho_i \cos(m_i \cdot \Delta \omega) \right], \quad (2)$$

де $\Delta \omega = \frac{\pi}{m \cdot \Delta l}$ — крок частоти вимірювального параметра.

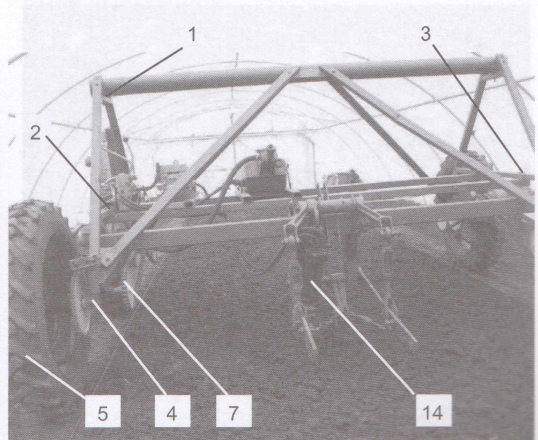
Фізичними об'єктами досліджень були сільськогосподарські агрегати для проведення обробки ґрунту і внесення мінеральних добрив, побудовані на основі мостового агрозасобу розробленої нами конструкції (рис. 1).

Основні технічні характеристики мостового агрозасобу: експлуатаційна маса — 1158 кг; сумарна потужність двигунів для приводу коліс — 3,0 кВт; номінальне тягове зусилля — 6,3 кН; ширина колії коліс — 3,5 м; поздовжня колісна база — 2,3 м; шини коліс — 9,5R32; спосіб повороту — силовий (бортовий).

Мостовий агрозасіб (рис. 1) містить силову ферму 1, яка є остовом-рамою агрозасобу, жорстко з'єднану з лівою 2 і правою 3 платформами. До платформ 2 і 3 прикріплені кронштейни 4 з колесами 5. Обертання коліс 5 здійснюється за допомогою двох мотор-редукторів 6, установлених всередині платформ 2 і 3, та синхронних механізмів 7 приводу переднього і заднього коліс 5 із кожного борту мостового агрозасобу. У верхній частині лівої платформи 2 встановлено блок-шафу 8 з пристроями керування шасі. Між передніми і задніми колесами 5 на нижній поверхні платформ 2 і 3 є опорні стійки силових домкратів 9 для підймання бортів агрозасобу з будь-якої сторони. На поперечинах силової ферми 1 розміщено



а



б

Рис. 1. Будова мостового агрозасобу: а — вид збоку; б — вид ззаду

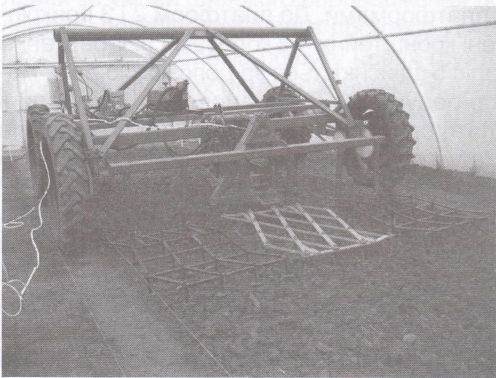
додаткові агрегати гідросистеми агрозасобу, зокрема бак 10 для гідрорідини, електричний двигун 11 приводу гідронасоса 12, гідророзподільник 13. Також у центральній частині агрозасобу розміщується гідравлічний начіпний механізм 14, запозичений від серійного колісного трактора тягового класу 1,4. За допомогою начіпного механізму 14 з агрозасобом агрегуються сільськогосподарські машини та знаряддя.

Під час експериментальних досліджень агрозасіб цієї конструкції агрегувався з такими сільськогосподарськими машинами-знаряддями: зубові борони (типу БЗСС-1,0) (рис. 2а); ротаційна борона (рис. 2б); S-подібний розпушувач (рис. 2в); електрифікований розкидач мінеральних добрив (рис. 2г).

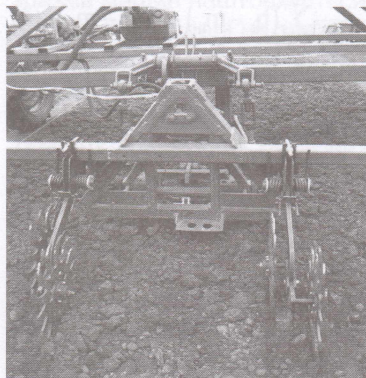
Як боронувальний агрегат використовували зубові борони типу БЗСС-1,0 (рис. 2а)

[20]. На бороні на зубцях першого ряду в поздовжньо-вертикальній площині встановлено плоскорізальні сегменти, а на другому сегменти встановлено під більшим кутом нахилу до горизонту, ніж сегменти останніх рядів. Таке конструктивне виконання забезпечує, на думку авторів розробки, високу якість обробітку ґрунту. Ефективність та енергоємність роботи борони становлять потенційний інтерес для її використання у складі мостових агрегатів, які функціонують у колійній системі землеробства.

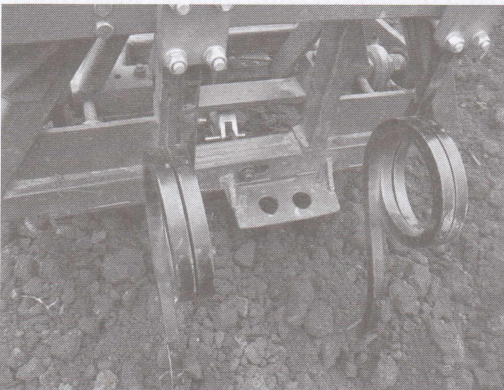
Профілювання нерівностей ґрунтового сліду постійної технологічної колії та агрофону реєстрували спеціально виготовленим профілографом із допомогою ПК (рис. 3). Цей вимірювальний комплекс містить профілограф 1, встановлений на рейці 2, закріпленій на стійках. На профілографі



а



б



в



г

Рис. 2. Мостовий агрозасіб у складі сільськогосподарських машин-знарядь під час проведення досліджень: а — зубові борони типу БЗСС-1,0; б — ротаційна борона; в — S-подібний розпушувач; г — електрифікований розкидач мінеральних добрив

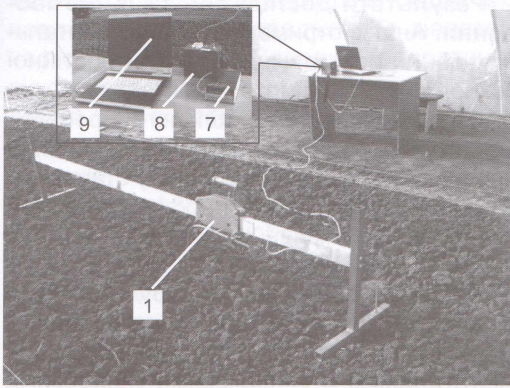


Рис. 3. Апаратно-вимірвальний комплекс для визначення нерівностей поздовжнього профілю агрофону

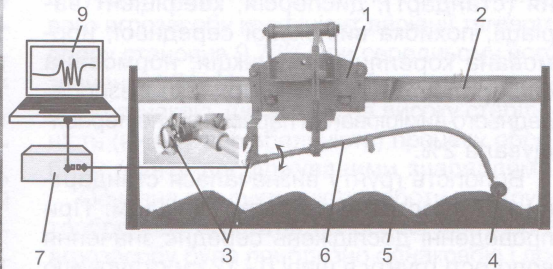
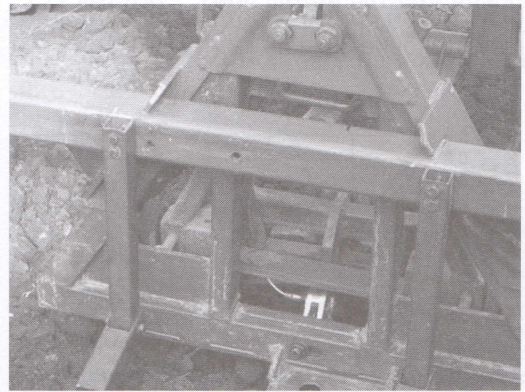


Рис. 4. Динамометрична автотзчіпка типу СА з тензометричною ланкою конструкції ВІСГОМ, яка встановлена на чіпний пристрій агрозасобу



встановлено реохордний перетворювач 3 (СП-3А). При переміщенні профілографа 1 по рейці 2 його колесо 4 обкатує нерівності профілю фону 5. Зі зміною ординати нерівностей фону 5 важіль 6 профілографа 1 здійснює кутові переміщення, що змінює опір реохордного перетворювача 3. Сигнал від нього (електричний струм) поступає на аналогово-цифровий перетворювач 7, живлення якого здійснюється від акумулятора 8 і відображається на моніторі ПК 9. При профілюванні нерівностей агрофону оператор рівномірно переміщує профілограф по рейці зі швидкістю близько 0,5–0,6 м/с від однієї опорної стійки до іншої.

Тарування профілографа (рис. 3) здійснювали на рівному майданчику шляхом підкладання під його колесо брусків різної товщини. При цьому сигнал від опору реохордного перетворювача СП-3А фіксували за допомогою аналогово-цифрового перетворювача та ПК [21]. Відносна похибка вимірювання нерівностей поздовжнього профілю агрофону апаратно-вимірвальним комплексом не перевищувала 2,5%.

Для вимірювання тягового опору агрегатів із агрозасобом сільськогосподарських машин-знарядь використовували спеціальну динамометричну автотзчіпку типу СА (рис. 4), яку встановлювали на тяги його навісного механізму.

Як вимірвальний елемент тягового опору сільськогосподарських машин-знарядь використовували тензометричну ланку конструкції ВІСГОМ (Всесоюзного інституту

сільськогосподарського машинобудування) із діапазоном вимірювань 0–10 кН (рис. 4). Її тарування проводили на спеціальному стенді з використанням динамометра ДПУ-2. Увесь діапазон вимірювань (0–10 кН) розділяли при цьому на 10 інтервалів. Значення ординат навантаження-розвантаження у кожній точці записували на ПК через аналогово-цифровий перетворювач. Відносна похибка вимірювань тягового опору не перевищувала 5%.

Отримані у процесі експериментальних досліджень реалізації коливань досліджуваних параметрів результати у вигляді оцифрованих даних переносили у програмне середовище MathCad. У ньому розраховували

такі статистичні характеристики, як: середнє значення; середнє квадратичне відхилення (стандарт); дисперсія; коефіцієнт варіації; похибка вибіркової середньої; нормована кореляційна функція; нормована спектральна щільність. Похибка безпосереднього вимірювання параметрів не перевищувала 2%.

Вологість ґрунту визначалася стандартним термостатно-ваговим методом. При проведенні досліджень середнє значення вологості ґрунту в шарі 0–12 см становило 24,4%, а щільності — 1,23 г·см⁻³.

Глибину обробки у процесі досліджень вимірювали глибиноміром у 10-ти місцях по діагоналі дослідної лабораторно-польової ділянки, довжина якої становила 50 м. Швидкісний режим роботи мостового агрегату становив 3,3–4,4 км·(год)⁻¹.

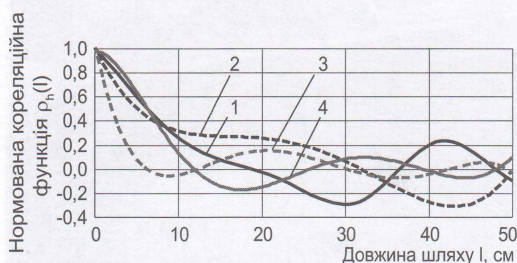


Рис. 5. Нормовані кореляційні функції $\rho_r(l)$ профілів нерівностей фонів від довжини шляху l : 1 — слідів постійної технологічної колії; 2 — агрофону після проходу зубової борони; 3 — агрофону після проходу S-подібного пружинного розпушувача; 4 — агрофону після проходу ротаційної борони

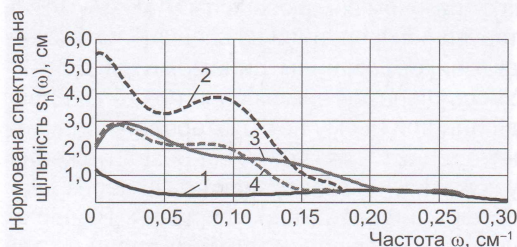


Рис. 6. Нормовані спектральні щільності $S_h(\omega)$ профілів нерівностей фонів від частоти ω : 1 — слідів постійної технологічної колії; 2 — агрофону після проходу зубової борони; 3 — агрофону після проходу S-подібного пружинного розпушувача; 4 — агрофону після проходу ротаційної борони

Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що профіль постійної технологічної колії істотно згладжений порівняно з профілем обробленого агрофону. Так, якщо середнє квадратичне відхилення профілю обробленого агрофону становило $\pm 1,32$ – $1,44$ см, то для профілю колії цей показник дорівнював $\pm 0,84$ см, тобто був у 1,6–1,8 раза менший.

За своєю внутрішньою структурою нерівності профілю слідів постійної технологічної колії характеризуються функцією, що містить разом із випадковими складовими гармонічними, виражені згасаючими періодичними коливаннями нормованої кореляційної функції (рис. 5). Її аналіз показав, що довжина кореляційного зв'язку ординат нерівностей профілю слідів постійної технологічної колії становить близько 0,18 м, що відповідає кроку ґрунтозачепів шин мостового агрегасобу, величина якого для типорозміру шин 9.5R32 становить 0,175 м.

Аналогічний характер за своєю структурою мають графіки нормованої кореляційної функції (рис. 5) коливань нерівностей поздовжнього профілю оброблюваного агрофону, але вони відрізняються між собою за енергією. Так, довжина їх кореляційного зв'язку дещо відрізняється від профілю нерівностей слідів постійної технологічної колії і залежить від виду технологічної операції з обробітку ґрунту мостовим агрегасобом. Наприклад, після обробітку агротехнічної зони поля зубовою бороною цей показник більший, ніж для нерівностей слідів постійної технологічної колії і становить 0,34 м. А після обробітку ротаційною бороною і S-подібним пружинним розпушувачем показник, навпаки, менший і становить відповідно 0,12 м і 0,08 м. Отримані характеристики нерівностей обробленого агрофону загалом відповідають характеристикам нерівностей полів, підготовлених під посів сільськогосподарських культур.

Спектр частот, які складають випадкову функцію нерівностей профілю слідів постійної технологічної колії, визначає нормована спектральна щільність їх ординат (рис. 6). З її аналізу випливає, що частота зрізу для цього процесу дорівнює приблизно 0,3 см⁻¹. Основна частка дисперсій

коливань нерівностей профілю слідів технологічної колії зосереджена в діапазоні частот $0-0,3 \text{ см}^{-1}$. Середнє квадратичне відхилення ординат цих нерівностей узгоджується із висотою ґрунтозачепів шин коліс агрозасобу, величина якої для типорозміру шин 9.5R32 становить $0,03 \text{ м}$.

Аналіз характеристик нерівностей профілю слідів постійної технологічної колії, по якій багаторазово рухається мостовий агрозасіб (рис. 5 і 6), свідчить, що генератором формування цих нерівностей є параметри ґрунтозачепів шин його коліс.

На відміну від утворених шинами коліс мостового агрозасобу нерівностей профілю слідів постійної технологічної колії профілі обробленого агрофону мають більш високочастотний характер (рис. 6). З аналізу нормованої спектральної щільності розподілу частот нерівностей оброблених агрофонів встановлено, що частота зрізу для цих процесів припадає на $0,18 \text{ см}^{-1}$. Основна частка дисперсій коливань нерівностей обробленого агрофону зосереджена в діапазоні частот $0-0,18 \text{ см}^{-1}$.

Колівання тягового опору сільськогосподарських знарядь при роботі агрегатів на основі мостового агрозасобу представляють випадкову функцію, в якій немає гармонічних складових (рис. 7).

З аналізу отриманих експериментальним шляхом нормованих кореляційних функцій (рис. 7) коливань тягового опору сільськогосподарських знарядь випливає, що ступінь випадковості процесу в S-подібного пружинного розпушувача і ротаційної борони істотно вище. Значення їх нормованих кореляційних функцій $\rho_F(t)$ стрімко зменшуються зі збільшенням часу t . Це свідчить про меншу залежність їх тягового опору від часу процесу.

Основний спектр дисперсій коливань тягового опору сільськогосподарських знарядь зосереджений у діапазоні частот $0-8 \text{ с}^{-1}$ (рис. 8). З аналізу розподілу нормованих спектральних щільностей коливань тягового опору досліджуваних сільськогосподарських агрегатів випливає, що характер розглянутих процесів майже однаковий.

За своєю енергією дисперсія коливань тягового опору досліджуваних сільськогосподарських агрегатів приблизно однакова

і становить $0,022-0,033 \text{ кН}^2$, а середнє квадратичне відхилення — $0,142-0,163 \text{ кН}$. Для 3 зубових борін в агрегаті на основі мостового агрозасобу коефіцієнт варіації тягового опору становив $9,76\%$ при середньому його значенні $1,71 \text{ кН}$. Отриманий результат є доброю ознакою, що вказує на високу стабільність (низьку варіабельність) процесу обробітку ґрунту досліджуваними знаряддями.

Основна продуктивність роботи цих ґрунтообробних агрегатів на основі мостового агрозасобу була приблизно однаковою і дорівнювала $1,08 \text{ га} \cdot (\text{год})^{-1}$. При цьому питомі витрати енергії становили $1,66 \text{ кВт} \cdot (\text{га})^{-1}$. Водночас для аналогічних традиційних машинно-тракторних агрегатів із такою самою шириною захвату вони становлять $2,77 \text{ кВт} \cdot (\text{га})^{-1}$. Тому питомі витрати енергії на 1 га оброблюваної площі новими агрегатами на основі мостового агрозасобу є нижчими на 40% .

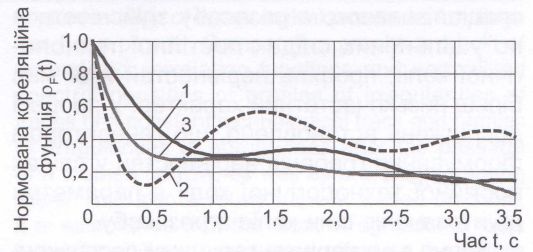


Рис. 7. Нормовані кореляційні функції $\rho_F(t)$ коливань тягового опору сільськогосподарських знарядь від часу t для: 1 — зубової борони; 2 — S-подібного пружинного розпушувача; 3 — ротаційної борони

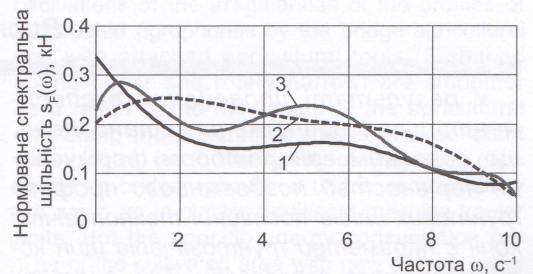


Рис. 8. Нормовані спектральні щільності $S_F(\omega)$ коливань тягового опору сільськогосподарських знарядь від частоти ω для: 1 — зубової борони; 2 — S-подібного пружинного розпушувача; 3 — ротаційної борони

Показники якості обробітку ґрунту зубою бороною, S-подібним пружинним розпушувачем і ротаційною бороною в агрегатах на основі мостового агрозасобу відповідали агровимогам до цих технологічних операцій [22]. Зокрема, відхилення фактичної глибини обробітку ґрунту від заданої не перевищувало ± 1 см, а висота гребенів на обробленому агрофоні була не більшою 2 см.

За результатами експериментальних досліджень ґрунтообробних сільськогосподарських агрегатів на основі мостового агрозасобу доведено їхню високу пристосованість до роботи в системі колійного землеробства. Якість обробітку ґрунту зубою бороною, S-подібним пружинним розпушувачем і ротаційною бороною відповідає агровимогам.

Колівання нерівностей профілів оброблених агрофонів ґрунтообробними агрегатами на основі мостового агрозасобу є більш плавними. Це результат того, що рух спеціалізованого агрозасобу здійснюється по ущільнених слідах постійної технологічної колії, профіль нерівностей якої має більш низькочастотний характер. У процесі досліджень встановлено, що генератором формування гребенів нерівностей у слідах постійної технологічної колії є параметри ґрунтозачепів шин коліс агрозасобу.

Згідно з експериментальними дослідженнями встановлено, що робота ґрунтообробних агрегатів на основі мостового агрозасобу також добре відображається на характері колівань їх тягового опору. Нормовані кореляційні функції таких колівань не містять

гармонічних складових. Коефіцієнт варіації колівань опору сільськогосподарських знарядь на гаку агрозасобу становить не більше 10%. Це свідчить про високу стабільність (низьку варіабельність) процесів механічного обробітку ґрунту мостовим агрозасобом, який рухається по слідах постійної технологічної колії, що позитивно позначається на стійкості його руху.

Для мостового агрозасобу, ширина колії якого дорівнює $K=3,5$ м, достатньо мати кутову швидкість обертання відцентрового робочого органу електрифікованого розкидача мінеральних добрив JarMet, що дорівнює $\omega=15,5$ рад·(с)⁻¹. Витрати потужності на його привод при цьому становлять 0,35 кВт. Якщо гіпотетично збільшити ширину колії мостового агрозасобу до 6 м, необхідна кутова швидкість відцентрового робочого органу для розкидання добрив експоненціально збільшується до 318,2 рад·(с)⁻¹. Таке збільшення кутової швидкості обертання відцентрового органу потребує відповідного підвищення потужності на його привод.

За результатами проведених випробувань мостового агрозасобу нами запропоновано низку схем нових сільськогосподарських знарядь, адаптованих до агрегування з подібними мостовими агрозасобами, та способів виконання агротехнологічних операцій, на які отримано патенти на винаходи і корисні моделі України (№№ 100657, 119800, 124946, 126787, 132889, 133491, 134274, 134275 та ін.).

Висновки

У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що основним генератором формування нерівностей поздовжнього профілю ґрунтових слідів постійної технологічної колії є параметри ґрунтозачепів шин коліс мостового агрозасобу. Так, в умовах випробувань агрозасобу основна частка дисперсій колівань нерівностей поздовжнього профілю слідів технологічної колії зосереджена в діапазоні частот $0-0,3$ см⁻¹, що узгоджується із висотою

ґрунтозачепів його шин 9,5R32, яка становить 0,03 м. Підтвердженням цього є те, що довжина кореляційного зв'язку ординат нерівностей профілю слідів постійної технологічної колії в умовах випробувань агрозасобу становить близько 0,18 м, що відповідає кроку ґрунтозачепів його шин — 0,175 м.

Характер колівань нерівностей профілів оброблених агрофонів мостовим агрозасобом із націпленими сільськогосподарськими знаряддями (S-подібним пружинним

розпушувачем і ротаційною бороною) є більш плавним у результаті руху агрозасобу по ущільнених слідах постійної технологічної колії, профіль нерівностей якої має більш низькочастотний характер. Про це свідчить менше середнє квадратичне відхилення амплітуд нерівностей цих профілів (у 1,6–1,8 раза). Основна частка дисперсії коливань нерівностей обробленого агрофону зосереджена в діапазоні частот $0-0,18 \text{ см}^{-1}$, а довжина їх кореляційного зв'язку приблизно удвічі більша за поздовжній профіль постійної технологічної колії.

Коефіцієнт варіації коливань тягово-опору сільськогосподарських знарядь у складі агрегатів на основі мостового агрозасобу становить не більше 10%, основний спектр їх дисперсії зосереджений у діапазоні частот $0-8 \text{ с}^{-1}$, а нормовані

кореляційні функції цих коливань не містять гармонічних складових. Це свідчить про високу стабільність (низьку варіабельність) процесів обробки ґрунту мостовим агрозасобом, який рухається по слідах постійної технологічної колії, що позитивно позначається на його стійкому русі.

Витрати потужності на привод відцентрового робочого органу для розкидання добрив на основі мостового агрозасобу відносно невеликі і становлять 0,35 кВт.

Якість обробки ґрунту агрегатами на основі мостового агрозасобу приблизно така сама, як і в аналогічних традиційних машинно-тракторних агрегатів. Але питомі витрати енергії на 1 га оброблюваної площі новими агрегатами при цьому нижчі на 40%.

Bulgakov V.,¹ Adamchuk V.,² Kuvachov V.,³ Holovach I.,⁴ Ihnatiev Ye.⁵

¹ *National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine,* ² *National Scientific Center «Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture», 11 Vokzalna Str., Hlevakha township, Vasylykiv district, Kyiv region, 08631, Ukraine,* ³ *Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, 18 B. Khmelnytskyi, Ave., Melitopol, Zaporizhzhia region, 72312, Ukraine;* e-mail: ¹ *vbulgakov@meta.ua,* ² *vadamchuk@gmail.com,* ³ *kuvachoff@ukr.net,* ⁴ *holovach.iv@gmail.com,* ⁵ *yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua;* ORCID: ¹ *0000-0003-3445-3721,* ² *0000-0003-0358-7946,* ⁴ *0000-0003-1387-4789,* ⁵ *0000-0003-0315-1595*

Laboratory field experimental studies of bridge agricultural unit

Goal. To assess the technical implementation and production efficiency of bridge mechanization for the track system of agriculture in the technological processes of tillage and application of technological materials (on the example of an agricultural tool with a developed design). **Methods.** Experimental studies were performed according to both conventional and developed methods using a modern strain gauge and control measuring equipment with the analog-to-digital conversion of signals from information sensors. **Results.** According to the results of experimental studies of the bridge agricultural unit as a part of agricultural tools for surface tillage, high adaptability to the

implementation of technological processes for tillage has been proved. Comparative graphs are built of normalized correlation functions and normalized spectral densities of profiles of irregularities of traces of a constant technological track and profiles of irregularities of agrophones after the passage of a toothed harrow, as well as a S-shaped spring ripper, and also a rotary harrow. Based on them, it is established that the work of agricultural tools for surface tillage has a good effect on the nature of the non-uniformity of oscillations of their traction resistance. **Conclusions.** The main generator of the formation of irregularities of the longitudinal profile of the soil traces of the constant technological track is the parameters of the soil hooks of the tires of the wheels of the bridge agricultural unit. The oscillations of the irregularities of the profiles of the treated agrophones by the bridge agricultural unit with attached agricultural tools (S-shaped spring ripper and rotary harrow) are smoother as a result of the movement of the agricultural unit along the compacted traces of a constant technological track. The quality of tillage with units based on bridge agricultural unit is approximately the same as in similar traditional machine-tractor units. But the specific energy consumption per 1 ha of the cultivated area with new units is lower by 40%.

Key words: bridge unit, constant technological track, normalized correlation function, correlation-spectral characteristics.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202009-06>

Бібліографія

1. Chamen T. Controlled traffic farming — from world wide research to adoption in Europe and its future prospects. *Acta Technologica Agriculturae*. 2015. Nitra 3. P. 64–73.
2. Onal I. Controlled Traffic farming and Wide Span Tractors. *J. of Agricultural Machinery Science*. 2012. V. 8, № 4. P. 353–364.
3. Bulgakov V., Adamchuk V., Kuvachov V. et al. Research of possibilities for efficient use of wide span tractor (vehicle) for controlled traffic farming. *Engineering for rural development: Proceedings 16 International Scientific Conference (24–26 may 2017, Jelgava, Latvia)*. 2017. V. 16. P. 281–287.
4. Pedersen H.H., Oudshoorn F.W., McPhee J.E. et al. Wide span — Re-mechanising vegetable production. *Acta Horticulturae*. 2016. V. 1130. P. 551–557.
5. Bulgakov V., Melnik V., Kuvachov V. et al. Theoretical study on linkage unit of wide span tractor. *Proceedings 29th DAAAM International symposium «Intelligent manufacturing and automation» (24–27 th October 2018, Zadar, Croatia)*. DAAAM International. Vienna, Austria, 2018. P. 0180–0189.
6. Derkach O.D., Makarenko D.O., Litvintseva Yu.O. et al. Upgrading of machines for surface tillage (for cultivators). *Collected Scientific Papers «Geo-Technical Mechanics»*. 2018. № 138. P. 260–270.
7. Mitkov V., Kuvachov V., Ihnatiev Ye. et al. New approach to the choice of way of mechanical processing of soil in the south of Ukraine. *International Scientific J. «Mechanization in agriculture»*. 2016. Iss. 1/2016. P.29–31.
8. Улексин В.А. Мостовое земледелие: монография. Днепропетровск: Пороги, 2008. 224 с.
9. Кувачов В.П. Експериментальні випробування агромостового боронувального агрегату. *Праці ТДАТУ*. 2019. Вип. 19, т. 4. С. 223–233.
10. Надикто В.Т., Гойчук А.Ф., Кюрчев В.М. Перспективи впровадження колійної системи землеробства на Україні. *Науковий вісник НАУ*. 2006. Вип. 92. С. 38–43.
11. Pedersen H.H., Oudshoorn F.W., McPhee J.E. Wide span — re—mechanising vegetable production. *XXIX International horticultural congress on horticulture: sustaining lives, livelihoods and landscapes: international symposia on the physiology of perennial fruit crops and production systems and mechanisation, precision horticulture and robotics Book Series: Acta Horticulturae*. 2016. V. 1130. P. 551–557.
12. Bulgakov V., Kuvachov V., Olt J. Theoretical study on power performance of agricultural gantry systems. *Proceedings 30th DAAAM International symposium «Intelligent manufacturing and automation» (23–26 th October 2019, Zadar, Croatia)*. DAAAM International. Vienna, Austria, 2019. P. 167–175.
13. Транспортний енергетичний засіб: Пат. на винахід 120299 Україна: А01В 49/00, А01В 49/04, А01В 63/16, А01В 63/22. № а 201710579; заявл. 01.11.2017; опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21.
14. Транспортний енергетичний засіб: пат. на винахід 120388 Україна: А01В 49/00, В60В 35/104. № а 201710576; заявл. 01.11.2017; опубл. 25.11.2019. Бюл. № 22.
15. Слосіб реалізації мостового землеробства: пат. на кор. мод. 84884 Україна: МПК А01В49/00. № u201302692; заявл. 04.03.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.
16. Мостовий засіб для сільськогосподарських робіт: пат. на кор. мод. 84883 Україна: МПК А01В49/00. № u201302688; заявл. 04.03.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.
17. Мостовий засіб для сільськогосподарських робіт: пат. на кор. мод. 93888 Україна: МПК А01В 49/00. № u 201403094; заявл. 27.03.2014; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20.
18. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для СПО. Москва: Изд-во Юрайт, 2016. 479 с.
19. Кувачов В.П., Мітков В.Б., Ігнат'єв Є.І. та ін. Методологія перевірки математичних моделей функціонування агромостових систем на адекватність. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2020. Вип. 10, т. 1. 13 с.
20. Борона Надикто-Аюбова для обробітку ґрунту під пар: пат. 88940 Україна. № u201311396; заявл. 26.09.2013; опубл. 10.04.2014. Бюл. № 7.
21. Кувачов В.П., Кюрчев В.М., Надикто В.Т. Методика та результати оцінки нерівностей профілю ґрунтового-дорожних фонів за допомогою ЕОМ. *Праці ТДАТУ*. 2008. Вип. 8. Т. 6. С. 28–34.
22. Ормаджи К.С. Контроль качества полевых работ. Москва: Россагропром, 1991. 191 с.