



Механізація, електрифікація

УДК 631.37

© 2021

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БЛОКОВО-МОДУЛЬНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО АГРЕГАТУ

В.М. Булгаков¹, В.В. Адамчук², В.П. Кувачов³

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

³доктор технічних наук, доцент

¹Національний 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 Фастівського р-ну Київської обл., 08631, Україна

³Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312, Україна

e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²vvadamchuk@gmail.com, ³kuvachoff@ukr.net;
ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-0358-7946, ³0000-0002-5762-256X

Надійшла 02.07.2021

Мета. Підвищення техніко-експлуатаційних показників блоково-модульного орного агрегату шляхом демпфірування його вертикальних коливань за рахунок створення пружно-дисипативного зв'язку його технологічного і енергетичного модуля (трактора). **Методи.** Експериментальні дослідження орного блоково-модульного агрегату ґрунтувалися як на загальноприйнятих стандартних, так і на спеціально розроблених оригінальних методиках із використанням тензометричного вимірювального комплексу і записом вихідних сигналів на ПК за допомогою аналогово-цифрового перетворювача. Обробку отриманих даних проводили на ПК із використанням кореляційного і дисперсійного аналізів. **Результати.** Проведеними експериментальними дослідженнями доведено, що створення раціонального пружно-дисипативного зв'язку трактора і технологічного модуля модульного енергетичного засобу дає можливість отримати бажані амплітудно-частотні та кореляційно-спектральні характеристики вертикальних коливань блоково-модульного сільськогосподарського агрегату, зменшити дисперсію коливань крутного моменту на валу відбору потужності трактора в 10 разів. **Висновки.** Створення пружно-дисипативного зв'язку трактора і технологічного модуля в агрегаті з коефіцієнтом опору 1,65 кН·с/м на оранці дало змогу зменшити в 3–4 рази дисперсію вертикальних коливань блоково-модульного агрегату, підвищити продуктивність його роботи на 6% і зменшити витрати палива

на 12,4%. У результаті раціонального дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля блоково-модульного агрегату зі зменшенням дисперсії вертикальних коливань орного блоково-модульного агрегату усуваються коливання з частотами понад 2 Гц. У міру зменшення їх інтенсивності вплив на організм оператора послаблюється і продуктивність його праці зростає. Інтенсивність прискорень вертикальних коливань при цьому зменшується до 1 м/с^2 , що зумовлює його роботу з допустимим рівнем стомлюваності до 8-ми годин.

Ключові слова: блоково-модульний сільськогосподарський агрегат, модульний енергетичний засіб, пружно-дисипативний зв'язок, демпфірування, експериментальні дослідження.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202107-06>

Багаторічний досвід експлуатації сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів показав, що зростання енергонасиченості тракторів відбувалося непропорційно приросту їх продуктивності. Через це енерговитрати на одиницю виконаної роботи природно підвищилися [1, 2].

На відміну від традиційного підходу в комплектуванні машинно-тракторних агрегатів побудова їх за блоково-модульним принципом з використанням технологічних модулів [3–8] представляє певний науково-практичний інтерес. Оскільки закладений резерв потужності двигуна енергонасиченого трактора, не може бути реалізований через його ходову систему, за модульним принципом побудови енергетичного засобу реалізується через привідні колеса технологічного модуля. За таких умов функцію зчпної ваги модульного енергетичного засобу виконуватиме не тільки вага трактора, а й вага всього блоково-модульного агрегату разом з його технологічною частиною.

За умов реальної експлуатації будь-якого блоково-модульного агрегату природні коливання зовнішніх збурень, які діють на нього, призводять до погіршення, зокрема, плавності його руху [8, 9]. Через зниження техніко-експлуатаційних показників його роботи і збільшення питомої витрати палива нівелюється ефект, який очікувався від переваг використання модульних енергетичних засобів [9]. Проте багаторічний досвід випробувань модульних енергетичних засобів у складі блоково-модульних сільськогосподарських агрегатів свідчить, що позитивною властивістю технологічного

модуля є можливість демпфірування коливань агрегату, що забезпечується інерційністю його ваги і силою опору сільськогосподарського знаряддя [8, 9]. Тому ґрунтовні дослідження пружно-дисипативних властивостей технологічного модуля в складі блоково-модульного сільськогосподарського агрегату являє певний науковий інтерес. А напрямок підвищення плавності руху блоково-модульних сільськогосподарських агрегатів без істотного ускладнення та переобладнання їх штатних систем підресування є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні та практичні аспекти використання блоково-модульних сільськогосподарських агрегатів у різних технологічних варіантах уже достатньо вивчені [2–9]. За результатами досліджень багатьох науковців обґрунтовано конструктивно-технологічні схеми блоково-модульних сільськогосподарських агрегатів. У більшості рекомендацій із налаштування модульного енергетичного засобу зв'язок технологічного модуля з енергетичним відбувається за допомогою заднього гідронавісного механізму останнього. При цьому золотник гідророзподільника гідросистеми енергетичного модуля знаходиться в плаваючому положенні [10]. Отже, у такому випадку внаслідок поступальних вертикальних переміщень обох модулів під час робочого руху агрегату перетік гідрорідини з однієї порожнини основного гідроциліндра навісного механізму в іншу відбувається з найменшою дисипацією енергії. Враховуючи те, що діапазон умов роботи блоково-модульних

сільськогосподарських агрегатів (на відміну від функціонального призначення агрегуючого трактора) досить широкий, а нерівності сільськогосподарських фонів характеризуються великою кількістю збурень, то це природно негативно відображається на плавності їх руху [8, 9].

Дослідження плавності руху мобільних енергетичних засобів, транспортних і машинно-тракторних агрегатів, із метою поліпшення їх динамічних характеристик наведені в роботах багатьох учених [11–13]. Зокрема, ними доведено, що суттєві вертикальні коливання сільськогосподарських агрегатів під час виконання технологічних операцій призводять до зміни динамічного радіуса коліс енергетичного засобу з усіма проблемами, що звідси випливають. Водночас кутова швидкість обертання вала двигуна тракторів модульних енергетичних засобів залежно від інтенсивності їх вертикальних коливань при цьому зменшується на 10–25 с⁻¹. Разом з цим змінний момент опору на валу двигуна трактора модульного енергетичного засобу, через нелінійність його швидкісної характеристики, призводить до неповного використання його ефективної потужності на 6–18 кВт. А зменшення поступальної швидкості руху блоково-модульного сільськогосподарського агрегату при цьому сягає 0,4 м/с, що в результаті пропорційно зменшує продуктивність його роботи [9].

Науковий досвід математичного опису динаміки руху традиційного сільськогосподарського машинно-тракторного агрегату не враховує вплив жорсткості в'язко-пружного з'єднання технологічної частини агрегату з енергетичною на характеристики коливань самого агрегату.

Отже, за реальних умов експлуатації характер функціонування блоково-модульного сільськогосподарського агрегату більшою мірою залежатиме від ступеня взаємодії енергетичного і технологічного модулів між собою. У загальному вигляді силову взаємодію трактора з технологічним модулем у поздовжньо-вертикальній площині розглянуто в роботах [8–10].

Дехто з учених спробували введення гідравлічного демпферного зв'язку між технологічним і енергетичним модулями блоково-модульного сільськогосподарського

агрегату в горизонтальній площині [14]. Подібне рішення було використано і для зменшення взаємних коливань енергетичного і технологічного модулів у поздовжньо-вертикальній площині [9].

Водночас, методи досліджень плавності руху переважно спрямовані на визначення середньої квадратичної величини параметрів вібронавантаження, які є інтегральними критеріями в певних діапазонах частот. Якісний аналіз природи і закономірностей коливальних процесів двох модулів модульного енергетичного засобу, що можуть бути з'єднані між собою різним в'язко-пружним зв'язком у наукових працях зовсім не наводиться. Це ускладнює вибір систем віброзахисту блоково-модульних сільськогосподарських агрегатів як на стадії їх проектування, так і в процесі експлуатації існуючих зразків за підвищення їх плавності руху.

Зумовлений стан справ із питань підвищення плавності руху блоково-модульних сільськогосподарських агрегатів потребує детальнішого дослідження динаміки їх руху в поздовжньо-вертикальній площині. Для вирішення цього завдання потрібне проведення докладних експериментальних досліджень.

Мета досліджень. Метою досліджень є підвищення техніко-експлуатаційних показників блоково-модульного орного агрегату шляхом демпфірування його вертикальних коливань за рахунок створення пружно-дисипативного зв'язку його технологічного і енергетичного модуля (трактора).

Методи досліджень. Експериментальні дослідження ґрунтувалися як на загальноприйнятих стандартних, так і розроблених оригінальних методиках із застосуванням спеціального обладнання з можливістю запису реєстрованих сигналів на ПК. Обробку отриманих даних проводили на ПК із використанням кореляційного і дисперсійного методів аналізу.

Фізичний об'єкт досліджень було прийнято орний агрегат на основі модульного енергетичного засобу (табл. 1), що містить енергетичний модуль (трактор МТЗ-82), технологічний модуль і навісний плуг ПЛН-5-35 (рис. 1).

Рама технологічного модуля є шарнірно-зчленованою (див. рис. 1). Її передня пово-

ротна частина з'єднана з енергетичним модулем (трактором) тягами його заднього навісного механізму. На поворотній частині рами модульного енергетичного засобу встановлений узгоджувальний редуктор, який синхронізує кутову швидкість ведучих коліс енергетичного модуля (трактора) і технологічного.

Шарнірне зчленування рами технологічного модуля (див. рис. 1) забезпечує взаємний поворот його передньої причіпної частини в горизонтальній площині на кут $\pm 30^\circ$ в обидві сторони і на кут $\pm 15^\circ$ у поперечній вертикальній площині. Водночас вертикальний шарнір оснащений двома гідроциліндрами, які забезпечують високу курсову поперечну стійкість руху модульного енергетичного засобу під час роботи. Для агрегування з сільськогосподарськими знаряддями технологічний модуль блоково-модульного сільськогосподарського агрегату обладнаний гідравлічною навісною системою.

Для підвищення точності вимірювальних параметрів, а також можливості безпосередньої дистанційної реєстрації показників з одночасною автоматичною обробкою результатів на ПК і коригуванням процесу експериментальних досліджень, був розроблений апаратно-вимірювальний комплекс. У ньому, для перетворення електричних

сигналів датчиків використовували спеціально розроблений 8-канальний аналого-цифровий перетворювач. За допомогою спеціально розробленої програми на екрані монітора ПК виводилися реалізації сигналів як в аналоговій, так і цифровій формі. Частота реалізації сигналу перетворювача становила 32 Гц. Число каналів, задіяних під час вимірювання параметрів, згідно з планом експериментальних досліджень дорівнювало п'яти (тяговий опір плуга, крутний момент на валу відбору потужності трактора, частота обертання задніх коліс трактора і частота обертання коліс технологічного модуля).

Пружно-дисипативний зв'язок енергетичного і технологічного модулів блоково-модульного сільськогосподарського агрегату створювався шляхом дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму трактора (рис. 2).

Здійснювалося це шляхом установа дроселя з регульованим прохідним перетином в одну з гідромагістралей, яка з'єднує одну з порожнин основного гідроциліндра з гідророзподільвачем. Установка дроселя в гідромагістралі гідросистеми заднього навісного механізму трактора давала можливість зменшувати прохідний перетин гідрорідини від 0 до 90%.

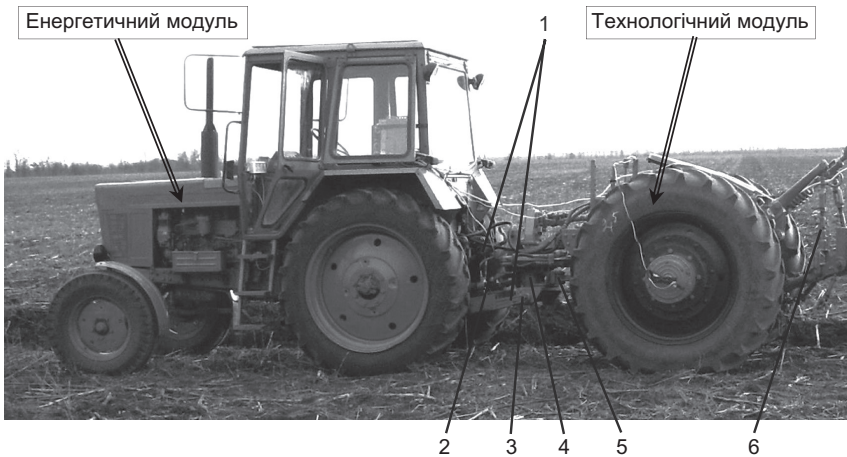


Рис. 1. Модульний енергетичний засіб універсально-просапного призначення: 1 — тяги навісного механізму; 2 — вал відбору потужності трактора; 3 — шарнірне з'єднання енергетичного модуля з технологічним; 4 — редуктор; 5 — вал приводу коліс технологічного модуля; 6 — навісний механізм технологічного модуля

1. Технічна характеристика модульного енергетичного засобу, який прийнято за фізичний об'єкт досліджень

Найменування показника	Значення
Експлуатаційна вага енергетичного модуля (трактора), кг	3640
Експлуатаційна вага технологічного модуля (без баласту), кг	2500
Маса додаткового баласту до технологічного модуля, кг	1200
Тягове зусилля технологічного модуля (з баластом), кН	16,0
Поздовжня база енергетичного модуля, м	2,37
Відстань від осі задніх коліс енергетичного модуля до осі коліс технологічного, м	2,40
Шини коліс:	
– передній міст енергетичного модуля	7.5R20
– задній міст енергетичного модуля	16.9R38
– міст технологічного модуля	16.9R38

Проведеними лабораторними вимірами було встановлено, що зменшення прохідного перетину гідромагістралі заднього навісного механізму енергетичного модуля (трактора) прямо пропорційно змінює величину коефіцієнта опору пружно-дисипативного зв'язку енергетичного модуля з технологічним (табл. 2).

Крутний момент на валу відбору потужності енергетичного модуля (трактора) блоково-модульного сільськогосподарського агрегату реєстрували за допомогою прохідного струмозйомника ТРАП-45.

Вимірювальний елемент тягового опору плуга використовували тензометричну

ланку конструкції ВІСГОМ із діапазоном вимірювань 0–30 кН. Тарування тензометричної ланки проводили на спеціальному тарувальному стенді з використанням динамометра ДПУ-5. Увесь діапазон вимірювань (0–30 кН) розбивали за таких умов на 10 інтервалів. Запис ординат навантаження/розвантаження в кожній точці записували на ПК через аналогово-цифровий перетворювач. Відносна похибка вимірювань тягового опору не перевищувала 5%.

Для реєстрації вертикальних прискорень (m/s^2) остова модульного енергетичного засобу в процесі його руху під час проведення експериментальних досліджень

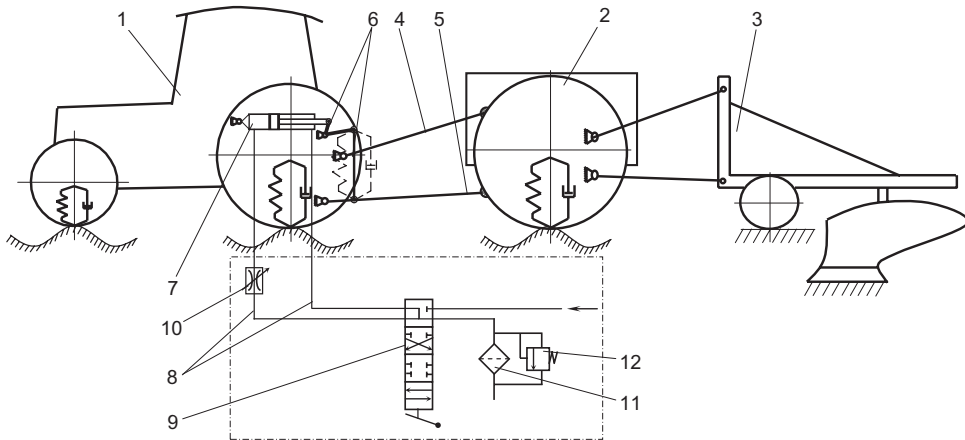


Рис. 2. Схема дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля: 1 – енергетичний модуль; 2 – технологічний модуль; 3 – зворотний клапан; 4 – центральна тяга; 5 – нижні тяги; 6 – важелі і розкоси навісного механізму; 7 – основний гідроциліндр; 8 – гідромагістралі; 9 – гідророзподільник; 10 – дросель; 11 – фільтр; 12 – зворотний клапан

2. Зв'язок ступеня дроселювання Ω гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля з величиною коефіцієнта опору K_{μ} пружно-дисипативного зв'язку енергетичного і технологічного модулів

Ω , %	0	25	50	75	90
K_{μ} , кН·с/м	0	1,00	1,35	1,65	1.80

використовували планшетний комп'ютер з операційною системою Android. У цьому програмному середовищі за допомогою спеціального додатку Accelerometer Meter (версія 1.32) реєструвалися в часі оцифровані вихідні сигнали і їх частотний діапазон від датчиків акселерометра, вбудованих у планшетний комп'ютер.

Отримані оцифровані сигнали від датчиків акселерометра планшетного комп'ютера імпортувалися в програмне середовище Mathcad для визначення їх статистичних характеристик.

Експериментальну амплітудно-частотну характеристику вертикальних коливань блоково-модульного сільськогосподарського агрегату знаходили за виразом [15]:

$$A(\omega) = \frac{\sigma_m}{\sigma_h} \cdot \left(\frac{S_m(\omega)}{S_h(\omega)} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де $S_h(\omega)$ — спектральна щільність нерівностей поздовжнього профілю агрофона;

$S_m(\omega)$ — спектральна щільність прискорень вертикальних коливань блоково-модульного сільськогосподарського агрегату;

σ_h, σ_m — середні квадратичні відхилення нерівностей профілю агрофона і спектральної щільності прискорень вертикальних коливань блоково-модульного сільськогосподарського агрегату;

ω — частота коливань вхідного та вихідного параметрів, c^{-1} .

Дисперсії характеристик випадкових процесів на виході лінійної динамічної системи визначали згідно [16]:

$$D = \frac{2}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T} \right) R_m(\tau) d\tau, \quad (2)$$

де T — тривалість запису реалізації процесу, c ;

$R_m(\tau)$ — кореляційна функція випадкового процесу.

Під час проведення експериментальних досліджень середня вологість ґрунту на залізковій ділянці поля в шарі 0–30 см становила 21,5%. Щільність ґрунту пере-

бувала в межах 1,31–1,43 г/см³. На організованих робочих ділянках, проводили хронометражні спостереження за роботою агрегату. Пług ПЛН-5-35 був налаштований на глибину оранки 26 см. Для виключення впливу суб'єктивного фактора в процесі досліджень працював один і той самий оператор.

Результати досліджень та їх обговорення. Як показали результати експериментальних досліджень роботи блоково-модульного сільськогосподарського агрегату на оранці стерні зернових, характер зменшення дисперсії прискорень його вертикальних коливань за різного ступеня пружно-дисипативного зв'язку трактора і технологічного модуля не однаковий (рис. 3). Інтенсивне зменшення дисперсій спостерігається до рівня дроселювання 75–80% гідросистеми заднього навісного механізму трактора. Проведений математичний аналіз експериментальної залежності на рис. 3 показав, що критична точка, яка є величиною раціонального дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму трактора, припадає на рівень 78%. За таких умов зменшення в 3 рази дисперсій прискорень вертикальних коливань блоково-модульного сільськогосподарського агрегату не є випадковим, оскільки згідно F-критерію Фішера на рівні значущості 0,05 нуль-гіпотеза про рівність цих статистичних оцінок відхиляється.

У результаті експериментальних досліджень орного блоково-модульного сільськогосподарського агрегату встановлено, що коливання тягового опору плуга мають більше виражений випадковий характер, в якому відсутні гармонійні складові. Основний спектр дисперсій цих коливань зосереджений в діапазоні частот 0–18 c^{-1} (рис. 4). Характер нормованих кореляційних функцій і спектральних щільностей коливань орного знаряддя (див. рис. 4) підтверджує факт незначного впливу цих коливань на динаміку

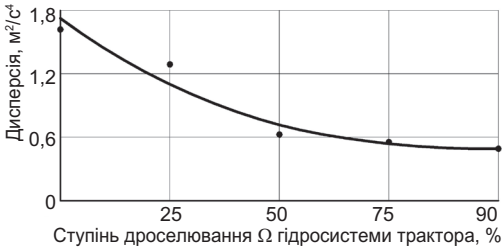


Рис. 3. Залежність дисперсії прискорень вертикальних коливань заднього моста трактора блоково-модульного сільськогосподарського агрегату від ступеня дроселювання Ω гідросистеми його заднього навісного механізму

вертикальних коливань блоково-модульного сільськогосподарського агрегату.

Отримані результати свідчать про те, що зменшення дисперсії вертикальних коливань орного блоково-модульного сільськогосподарського агрегату, шляхом забезпечення раціонального вибору жорсткості з'єднання трактора з технологічним модулем, досягається певною величиною дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму трактора, що практично не впливає на коливання тягового опору плуга. Про це свідчить однаковий характер розподілу щільності коливань тягового опору орного знаряддя як за частотою, так і за енергією (див. рис. 4), а також не значна розбіжність середнього квадратичного відхилення цього параметра, що становить $\pm 1,5\text{--}3,0$ кН (див. табл. 2).

У подальшому аналізі експериментальних досліджень з практичного погляду точки зору можна вважати, що зміна жорсткості з'єднання трактора з технологічним

модулем має незначний вплив на характеристику тягового опору сільськогосподарського знаряддя та його вплив на плавність руху блоково-модульного сільськогосподарського агрегату загалом.

Вплив жорсткості з'єднання трактора з технологічним модулем за характером коливального процесу крутного моменту на його валу відбору потужності дещо інший. Аналіз отриманих експериментальних даних показує, що графіки нормованих кореляційних функцій за характером процесу описують випадкові функції, в яких гармонійною складовою не значна, а ступінь випадковості значно вищий. Основний спектр коливань крутного моменту на валу відбору потужності трактора зосереджений у діапазоні $0\text{--}16$ с⁻¹ (див. рис. 5). Виражені максимуми спектральної щільності цих коливань свідчать про складнішу природу їх виникнення.

За результатами досліджень слід зазначити, що підвищення плавності руху орного блоково-модульного сільськогосподарського агрегату шляхом забезпечення раціонального вибору жорсткості з'єднання трактора з технологічним модулем досягається певним ступенем дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму трактора, покращує характер розподілу щільності коливань крутного моменту на його валу відбору потужності та зменшує дисперсію самих коливань. Із цього випливає, що зі зменшенням дисперсії вертикальних коливань блоково-модульного сільськогосподарського агрегату зменшується діапазон середньо квадратичного відхилення динамічного радіуса його коліс. А це дає можливість поліпшити тягово-зчіпні

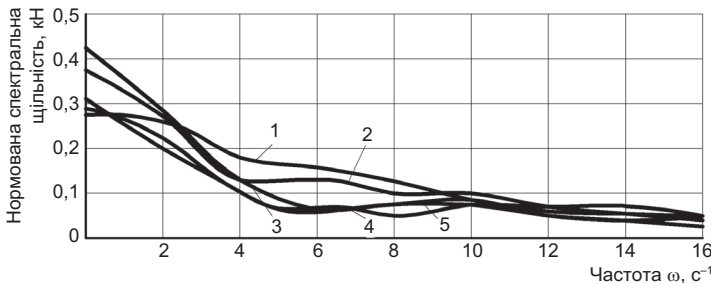


Рис. 4. Нормовані спектральні щільності коливань тягового опору плуга за різного ступеня дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму трактора: 1 — $\Omega = 0\%$; 2 — $\Omega = 25\%$; 3 — $\Omega = 50\%$; 4 — $\Omega = 75\%$; 5 — $\Omega = 90\%$

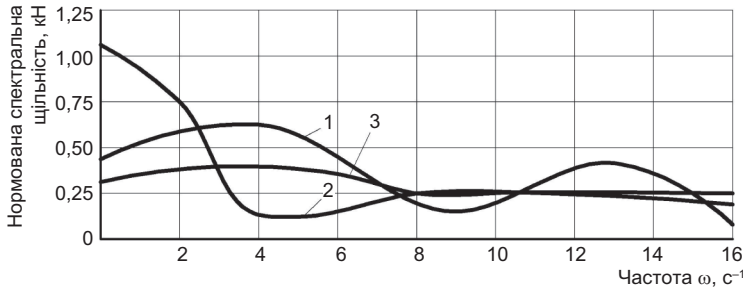


Рис. 5. Нормовані спектральні щільності коливань крутного моменту на валу відбору потужності трактора за різного ступеня дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму: 1 – $\Omega = 25\%$; 2 – $\Omega = 50\%$; 3 – $\Omega = 75\%$

властивості блоково-модульного сільськогосподарського агрегату, оскільки дає змогу зменшити витрати потужності на його коливання і підвищити енергетичні показники роботи.

Аналіз проведених лабораторно-польових експериментальних досліджень свідчить, що результат підвищення плавності руху орного блоково-модульного сільськогосподарського агрегату дає можливість виконувати оранку на більшій швидкості (див. табл. 2). У результаті, продуктивність за 1 год основного часу прямо пропорційно збільшується. Крім зростання продуктивності відзначено факт зменшення питомої (погектарної) витрати палива орного

блоково-модульного сільськогосподарського агрегату на 12,4% (див. табл. 2).

Із довірчою ймовірністю 95% можна стверджувати, що різниця між середніми значеннями гребенистості поверхні і глибини оранки, а також між дисперсіями цих показників за F-критерієм Фішера носять суто випадковий характер.

Результатами досліджень встановлено, що практична реалізація вимог вертикальної вібронавантаженості оператора блоково-модульного орного агрегату і безпеки його праці досягається раціональним вибором жорсткості з'єднання двох його модулів. Водночас зі зменшенням дисперсії вертикальних коливань агрегату усуваються

3. Тягово-енергетичні показники роботи орного блоково-модульного сільськогосподарського агрегату

Найменування показника	Значення показника для рівня дроселювання Ω гідросистеми заднього навісного механізму трактора				
	0%	25%	50%	75%	90%
Робоча швидкість руху					
м/с	1,52	1,72	1,56	1,67	1,67
км/год	5,47	6,19	5,61	6,01	6,01
Тяговий опір плуга:					
середнє значення, кН	24,15	24,62	24,50	24,89	25,34
стандарт, \pm кН	1,49	3,00	1,59	1,94	1,50
коефіцієнт варіації, %	9,8	9,86	9,08	10,69	11,02
Крутний момент на валу відбору трактора:					
середнє значення, кН·м	2,68	2,53	3,73	3,44	3,03
стандарт, \pm кН·м	1,07	0,85	0,37	0,14	0,16
коефіцієнт варіації, %	39,91	33,59	9,86	3,96	5,28
Продуктивність за 1 год основного часу, га/год	0,954	1,086	0,984	1,050	1,050
Питома витрата палива, кг/год	18,02	15,02	16,02	15,02	13,52

коливання з частотами понад 2 Гц. Зі зменшенням інтенсивності їх впливу на організм оператора, його продуктивність праці зростає. Результат раціонального дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля блоково-модульного агрегату дає змогу отримувати інтенсивність прискорень вертикальних коливань на рівні 1 м/с². А це збільшує допустиму тривалість роботи оператора до рівня допустимої стомлюваності до 8-ми годин.

Результати визначення тягово-енергетичних показників роботи блоково-модульного

сільськогосподарського агрегату для різної жорсткості з'єднання двох модулів наведено в табл. 3.

Якість оранки в процесі експериментальних досліджень знаходилася майже на однаковому рівні. Із довірчою ймовірністю 95% можна стверджувати, що різниці між середніми значеннями гребенистості поверхні та глибини оранки, а також між дисперсіями цих показників носять суто випадковий характер. Приблизно однаковими є й інші експлуатаційно-технологічні показники роботи.

Висновки

Результатами експериментальних досліджень встановлено, що раціональний пружно-дисипативний зв'язок енергетичного модуля (трактора) з технологічним у складі орного блоково-модульного агрегату за величиною коефіцієнта опору становить 1,65 кН·с/м, що досягається дроселюванням гідросистеми заднього навісного механізму трактора на рівні 75–78%.

Створення у такий спосіб раціонального пружно-дисипативного зв'язку трактора і технологічного модуля блоково-модульного агрегату дає можливість на оранці отримати бажані амплітудно-частотні та кореляційно-спектральні характеристики його вертикальних коливань, а також зменшити дисперсію коливань крутного моменту на валу відбору потужності трактора в 10 разів. За таких умов, зменшення у 3–4 рази при цьому дисперсії вертикальних коливань блоково-модульного орного агрегату поліпшує його техніко-експлуатаційні показники: зокрема, продуктивність роботи підвищилася

на 6%, а витрати палива зменшилися на 12,4%.

У результаті раціонального дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля блоково-модульного агрегату зі зменшенням дисперсії вертикальних коливань орного блоково-модульного агрегату усуваються коливання з частотами понад 2 Гц. У міру зменшення їх інтенсивності, вплив на організм оператора послаблюється і продуктивність його праці зростає. Інтенсивність прискорень вертикальних коливань за таких умов зменшується до 1 м/с², що зумовлює його роботу з допустимим рівнем стомлюваності до 8-ми годин

Робота орного блоково-модульного агрегату, в якому енергетичний і технологічний модулі з'єднані в'язко-пружним зв'язком, не відображається на якості оранки. З довірчою ймовірністю 95% можна стверджувати, що різниця між середніми значеннями, а також дисперсіями показників якості оранки носять суто випадковий характер.

Bulgakov V.¹, Adamchuk V.², Kuvachov V.³

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15, Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine, ²National Scientific Center «Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture», 11, Vokzalna Str., Hlevakha township, Fastivskiy district, Kyiv oblast, 08631, Ukraine, ³Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, 18, B. Khmelnitsky Ave., Melitopol, Zaporizhzhia oblast, 72312, Ukraine; e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua;

²vvadamchuk@gmail.com; ³kuvachoff@ukr.net; ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-0358-7946, ³0000-0002-5762-256X

Results of experimental researches in a block-modular agricultural unit

Goal. To improve the technical performance of the block-modular plow unit by damping its vertical oscillations by creating an elastic-dissipative connection of its technological and energy module (tractor). **Methods.** Experimental studies of the plow

block-module unit were based on both generally accepted standard, and specially developed original methods using a strain gauge measuring complex and recording output signals on a PC using an analog-to-digital converter. The obtained data were processed on a PC using correlation analysis and analysis of variance. **Results.** Experimental studies have shown that the creation of a rational elastic-dissipative connection between the tractor and the technological module of the modular power tool makes it possible to obtain the desired amplitude-frequency and correlation-spectral characteristics of vertical oscillations of a block-modular agricultural unit. **Conclusions.** The creation of an elastic-dissipative connection between the tractor and the technological module in the unit with a coefficient of resistance of 1.65 kN-s/m on plowing made it possible to reduce by 3–4 times the

variance of vertical oscillations of the block-module unit, increase its productivity by 6%, and reduce fuel consumption by 12.4%. As a result of rational throttling of the hydraulic system of the rear-hinged mechanism of the power module of the block-module unit, with reduction of the dispersion of vertical oscillations of the plow block-module unit, oscillations with frequencies over 2 Hz are eliminated. As their intensity decreases, the impact on the operator's body weakens, and his productivity increases. The intensity of accelerations of vertical oscillations is reduced to 1 m/s², which determines its operation with a permissible level of fatigue up to 8 hours.

Key words: block-modular agricultural unit, modular energy means, elastic-dissipation connection, damping, experimental researches.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202107-06>

Бібліографія

1. Nadykto V., Adamchuk V., Bulgakov V. et al. Theoretical research into the power and energy performance of agricultural tractors. *Agronomy Research*. 2016. V. 4(5). P. 1511–1518
2. Надикто В.Т., Чаплинський А.П. До питання про тяговий коефіцієнт корисної дії модульного енергетичного засобу. *Техніка АПК*. 2007. №1–2. С. 15–17.
3. Надикто В.Т. Роль модульних енергетических средств в формировании типажа тракторов на Украине. *Тракторы и сельхозмашины*. 2010. №6. С. 22–25.
4. Надикто В.Т. Модульні енергозасоби. *The Ukrainian Farmer*. 2010. №7. С. 70–71.
5. Надикто В.Т., Мітков В.Б., Кувачов В.П. та ін. Експлуатація блоково-модульних машинно-тракторних агрегатів: посібник-практикум для виконання лабораторних робіт. Мелітополь: Люкс, 2020. 120 с. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/wp-content/uploads/sites/5/posybnuk-ebm-mta-2020.pdf>.
6. Надикто В.Т., Кюрчев В.М., Кувачов В.П. Використання техніки в АПК: підручник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 268 с.
7. Надикто В.Т. Основы агрегатирования модульных энергетических средств: монография. Мелітополь: КП «ММД», 2003. 240 с.
8. Bulgakov V., Kuvachov V., Ivanovs S. et al. Operational and technological properties of ploughing block-modular machine-and-tractor aggregate. *Proceeding 20th International Scientific Conference Engineering for rural development (Jelgava, 26–28.05.2021)*. P.650–656.
9. Kuvachov V., Kiurchev S., Nurek T. et al. Scientific bases of increase movement smoothness of the machine-tractor units on base of modular power means. Monograph–Warszawa: 2021. 136 p. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/wp-content/uploads/sites/5/scientific-bases-of-increase-movement-smoothness-of-the-machine-tractor-units-on-base-of-modular-power-means.pdf>.
10. Кюрчев В.М., Надикто В.Т., Кувачов В.П. Рекомендації з підвищення плавності руху машинно-тракторних агрегатів на основі модульних енергетичних засобів. *Праці ТДАТУ*. 2008. Вип. 8, том 8. С. 16–21.
11. Жутов А.Г. Повышение эффективности использования колесных тракторов в составе сельскохозяйственных транспортных МТА за счет упругих звеньев: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. Волгоград, 2002. 36 с.
12. Керницький І.С. Науково-прикладні основи проектування та підвищення ефективності роботи пружних і демпфірувальних елементів систем підресорювання колісних машин: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. Львів, 2001. 36 с.
13. Акопян Р.А. Пневматическое подрессоривание автотранспортных средств, 1980. 207 с.
14. Булгаков В.М., Надикто В.Т., Головач І.В. та ін. Дослідження стійкості руху модульного машинно-тракторного агрегату. *Вісник аграрної науки*. 2020. №5. С. 59–66. doi: 10.31073/agrovisnyk202005-08
15. Надикто В.Т. Основы научных исследований. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 268 с.
16. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. Ленинград: Колос, 1979. 376 с.