**Булгаков В. М.**академік НААН України,
д.т.н., професор*Національний університет
біоресурсів і
природокористування
України***Кувачов В. П.**

д.т.н., доцент

*Таврійський державний
агротехнологічний
університет імені Дмитра
Моторного***Солона О. В.**

к.т.н., доцент

*Вінницький національний
аграрний університет***Борис М. М.**

к.т.н., доцент

*Подільський державний
аграрно-технічний
університет***Bulgakov V.**Academician of NAAS of Ukraine,
Doctor of Technical Sciences, Professor*National University of Life and
Environmental Sciences of
Ukraine***Kuvachov V.**Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor*Dmytro Motorny Tavria State
Agrotechnological University***Solona O.**

PhD of Eng., Associate Professor

*Vinnytsia National Agrarian
University***Boris M.**

PhD of Eng., Associate Professor

*State Agrarian and
Engineering University in
Podilia***УДК 631.3****DOI: 10.37128/2306-8744-2021-3-3**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ КОЛИВАНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ

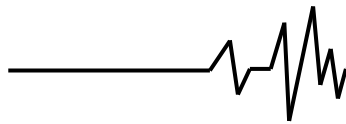
Плавність руху сільськогосподарських агрегатів – один із важливих експлуатаційних показників їхньої роботи, який оцінюють по впливу коливань (поступальних вертикальних, поперечних, кутових поздовжніх та ін.). У статті наведена методика і результати експериментальної оцінки плавності руху мостового сільськогосподарського агрегату, який рухається по слідах постійної технологічної колії. Проведені дослідження плавності руху мостового агрегату показали, що графіки нормованих кореляційних функцій вертикальних коливань мостового агрегату розробленої нами конструкції при його русі по слідах постійної технологічної колії характеризується функцією, що містить поряд з випадковими складовими гармонійні, які виражені загасаючими періодичними коливаннями. Спектр частот коливань основа агрегату зосереджений в діапазоні від 0 до 20 c^{-1} , що узгоджується із діапазоном частот $0...0,3\text{ см}^{-1}$, в якому зосереджені дисперсії коливань нерівностей профілю слідів технологічної колії. Довжина кореляційного зв'язку становить приблизно 0,25 с, що при швидкості руху агрегату в межах 1,0 м/с це дорівнює 0,25 м. Отриманий результат пояснюється тим, що основний спектр коливань нерівностей профілю має періодичність, яка відповідає кроку ґрунтозачепів шин коліс агрегату.

Проведені дослідження підтвердили ефективність методики оцінювання інтенсивності вертикальних коливань сільськогосподарського агрегату вимірювально-реєстраційним комплексом на базі планшетного комп'ютера з операційною системою Android з вбудованими в нього датчиками акселерометра і додатка Accelerometer Meter.

Ключові слова: плавність руху, сільськогосподарський агрегат, методика, інтенсивність вертикальних коливань, акселерометр, експериментальні дослідження.

Постановка проблеми. У процесі робочого руху сільськогосподарських агрегатів на них передаються поштовхи й удари, які викликані нерівностями поздовжнього профілю шляху, нерівномірністю тягового опору та іншими

факторами [1]. В загальному вигляді енергетична і технологічна частини сільськогосподарських агрегатів здійснюють при цьому коливання, які обумовлюють їх плавність руху. Плавність руху сільськогосподарських агрегатів – один з важливих



експлуатаційних показників їхньої роботи, який оцінюють по впливу коливань (поступальних вертикальних, поперечних, кутових поздовжніх та ін.), головним чином, на фізичний стан і здоров'я людини [2]. Водночас, є й інші важливі показники роботи агрегатів, які залежать від плавності руху: тягово-динамічні показники, продуктивність, агротехнічні якості виконуваної операції, безпека руху, довговічність і економічність роботи [2].

З теорії трактора та автомобіля відомо [2], що головний вплив на плавність руху та фізіологічний стан водія здійснюють два види коливань: поступальні вертикальні (підсакування) і кутові поздовжні (галоупання). В свою чергу, плавність руху залежить від мікрорельєфу поверхні, майстерності водія, від компонування агрегату, типу ходових органів, швидкості руху, нерівноваженості деталей, нерівномірності їх обертання.

При проведенні випробувань оцінки плавності руху транспортних та мобільних засобів керуються чинними стандартними правилами та методами проведення випробувань. Наприклад, методика вимірювання вібрації на сидінні транспортних засобів прописана прийнятим в Україні стандартом ГОСТ ISO 10326-1-2002 [3]. В той же час, ще в часи СРСР, існували методики з оцінювання плавності руху транспортних засобів ОСТ 37.001.275-84, ОСТ 37.001.291-84 та інші, зокрема, ГОСТ 4.304-85, ГОСТ 30296-95, 12.1.049-86, ГОСТ 12.4.012-83, ГОСТ 25275-82 [4-12].

Вказані методики розглядають низку різномірних показників оцінювання плавності руху мобільних засобів:

- найбільше вертикальне переміщення центру пружності і кутове коливання остова;
- найбільші і середні кутові або лінійні прискорення;
- найбільші елементарні зміни кутових або лінійних прискорень, віднесені до відповідних елементарних проміжків часу;
- показник інтенсивності дії струсів на організм водія, в Палях;
- вібронавантаженість та інше.

Від того, наскільки правильно підібрано необхідне експериментальне обладнання та обраний метод вимірювання, буде залежати загальна і зрозуміла характеристика плавності руху сільськогосподарського агрегату, задля якої необхідно і достатньо репрезентувати конкретні показники «плавності» із відомих та загальноприйнятих одиниць фізичних вимірювань: амплітуда, частота, швидкість і прискорення коливань.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Для вимірювання показників плавності руху найбільш розповсюджені акселерометри (рис. 1).

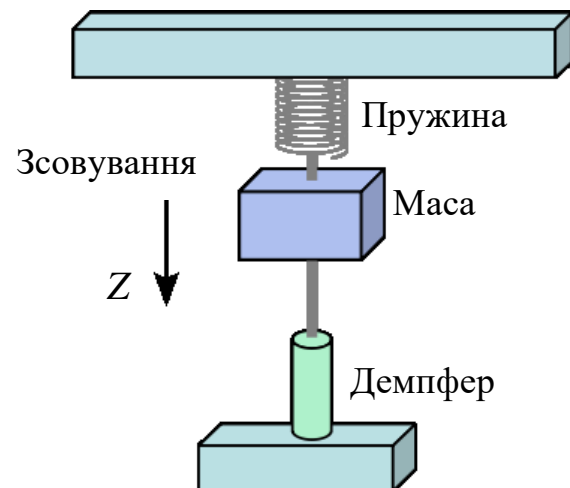


Рис.1. Спрощена модель акселерометра (<https://uk.wikipedia.org/wiki/>)

Акселерометр (від лат. *accelero* – «прискорюю» і грец. *μετρεω* – «вимірюю») – прилад, яким вимірюють прискорення або перевантаження, що виникають під час випробування різних машин та їхніх систем. Він вимірює проєкцію повного (абсолютного лінійного) прискорення і входить до складу інерціальних навігаційних систем, де отримані за їх допомогою виміри інтегрують, отримуючи інерційну швидкість і координати носія (<https://uk.wikipedia.org/wiki/>). Показання акселерометра – це зсув його певної маси відносно свого нульового положення, в якому пружина ні стиснута, ні натягнута.

Для вимірювання інтенсивності коливань на робочих місцях мобільних і транспортних засобів свого часу використовували спеціально створені для цього вібрографи [1], які відповідають вимогам, що ставляться до вібровимірної апаратури за ГОСТ 12.4.012-83 і ГОСТ 20844-75.

Одним з представників сімейства вібрографів є віброграф Гейгера. Теорія цього вібрографа була представлена ще в 1927 році доктором Гейгером в його книзі «Mechanische Schwingungen».

В сучасних умовах, коли серед вимірювальних методів в техніки все більшого розповсюдження отримують методи автоматики, аналогові і цифрові форми реєстрації сигналів, віброграф Гейгера також можна вдало використовувати. На рис. 2 показано модернізований віброграф Гейгера із встановленим індукційним датчиком для реєстрації вихідного сигналу [1].

Головною складовою вібрографа (див. рис. 2) є маятник 1 (на рисунку показано установку при вимірюванні вертикальних коливань), який кріпиться за допомогою спіральної пружини 2. До маятника 1 закріплений



металевий прут 3. При вертикальних коливаннях платформи, на якій встановлений віброграф, і яка розміщена, наприклад, в кабіні трактора, має місце рух маятника 2 відносно остова вібрографа.

Внаслідок цього здійснюються коливання металевого прута 3, який наводить електрорушійну силу індукційного датчика.

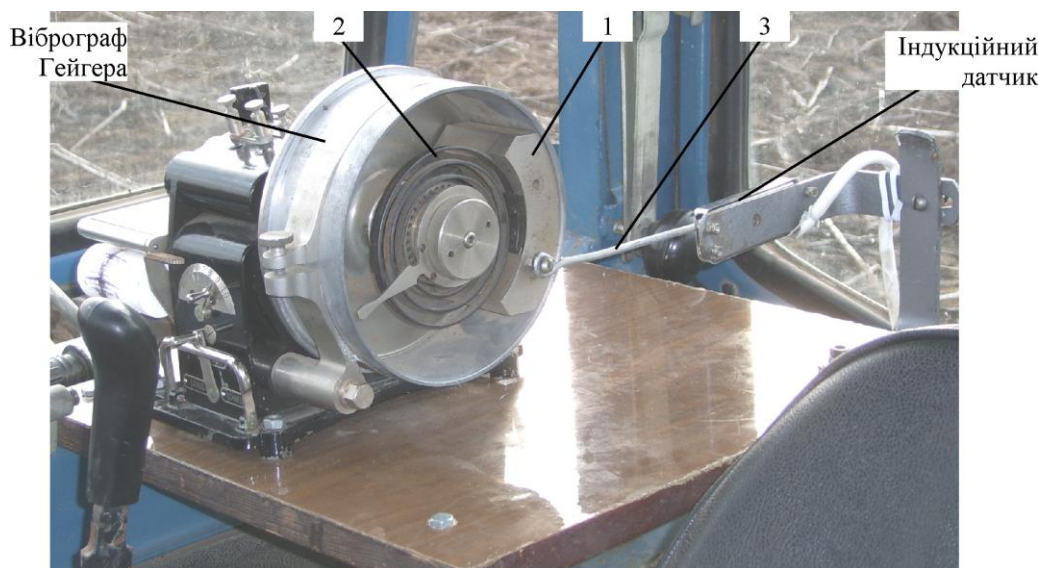


Рис. 2. Автоматизований віброграф Гейгера

Електричний сигнал, який наводиться в контурі індукційного датчика вібрографа (див. рис. 2), перетворюється за допомогою аналогово-

цифрового перетворювача і записується одразу на ПК (рис. 3) [1].

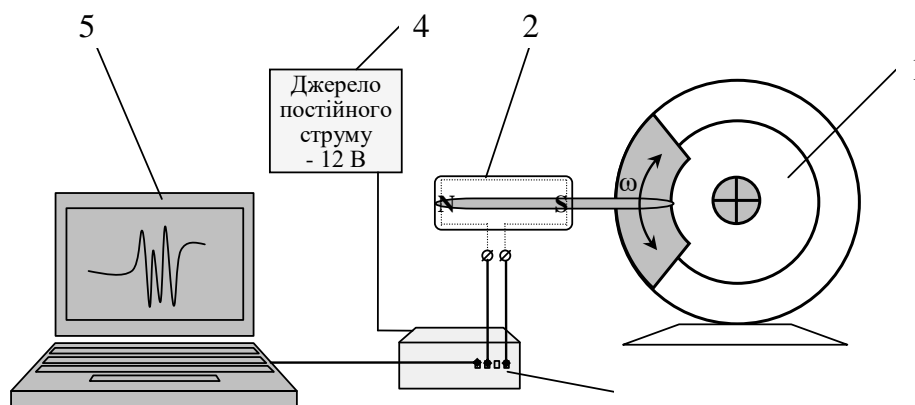


Рис. 3. Схема вимірювально-інформаційної системи [1]:

1 – Віброграф Гейгера; 2 – індукційний датчик; 3 – аналогово-цифровий перетворювач; 4 – джерело постійного струму; 5 – ПК

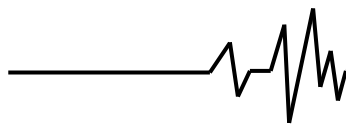
Але ж, на відміну від вібрографічних приладів, сучасний науково-технічний рівень проведення експериментальних досліджень дозволяє безпосередньо дистанційно реєструвати реалізації коливальних процесів будь яких технічних систем на ПК за допомогою вбудованих датчиків акселерометрів в портативні електронні пристрої (планшетні комп'ютери, смартфони тощо) з одночасною автоматичною обробкою результатів, корегуванням процесу експериментальних досліджень, що значно підвищує точність вимірювань.

Мета досліджень. Підвищення

ефективності процесу оцінювання інтенсивності коливань сільськогосподарських агрегатів шляхом обґрунтування методики вимірювань.

Методика досліджень.

Експериментальні дослідження проводилися у тепличному комплексі (рис. 4), на базі якого була спеціально обладнана лабораторія для випробування мостового агрозасобу [13]. В умовах цієї лабораторії була штучно створена на ґрунті постійна технологічна копія, поздовжній профіль нерівностей якої був остаточно сформований багатократними проходами рушіїв агрозасобу по ній.

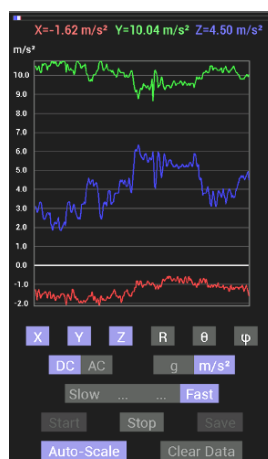


Для реєстрації вертикальних прискорень \ddot{Z} (m/s^2) основа агросасобу в процесі його руху під час проведення експериментальних досліджень використовували планшетний комп'ютер з операційною системою Android (див. рис. 4). В цьому програмному середовищі за допомогою спеціального додатка Accelerometer Meter (версія 1.32) отримувалися оцифровані вихідні сигнали та їх частотний спектр від датчиків акселерометрів, які вбудовані в планшетний комп'ютер (рис. 5). Отримані оцифровані сигнали від датчиків акселерометра планшетного комп'ютера (див. рис. 5 д) імпортувалися у програмне середовище Mathcad для визначення їхніх статистичних характеристик.

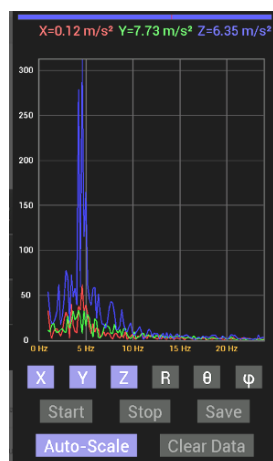
Рис. 4. Спеціалізований ширококоліїний агросасіб зі встановленим планшетним комп'ютером



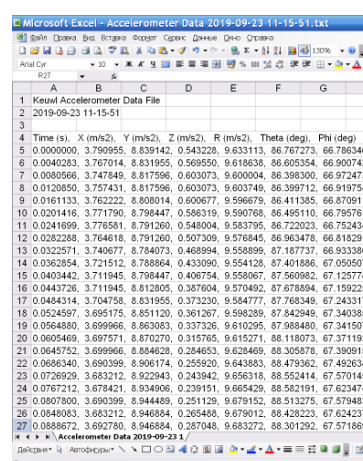
а)



б)



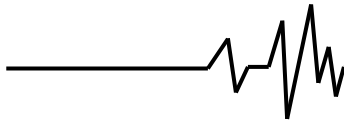
в)



д)

Рис. 5. Інтерфейс програмного середовища Accelerometer Meter на базі Android: а – вимірювання вертикального прискорення (позначено Z); б – функція запису вимірювання вихідних параметрів; в – розподілення амплітуд вихідних параметрів по частотах; д – оцифровані вимірювані параметри у форматі «txt»

Оскільки ордината спектральної щільності коливань вертикальних прискорень основа агросасобу має одиницю вимірювання $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, що є реалізацією сигналів від датчиків акселерометра,



то для переходу до лінійної амплітуди z_y (м) ординати точок спектральної щільності, з деяким припущенням та достатньою при цьому точністю, визначали у такий спосіб:

$$z_y = \frac{\ddot{Z} \cdot T^2}{2}, \quad (1)$$

де \ddot{Z} – прискорення вертикальних коливань агрозасобу за даними програмного середовища Accelerometer Meter, $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$;

T – час, який дорівнює довжині кореляційного зв'язку щільності прискорень вертикальних коливань агрозасобу, с.

Теоретичну спектральну щільність коливань остова агрозасобу знаходили із виразу [14]:

$$S_T(\omega) = \frac{A_T(\omega)^2 \cdot S_{np}(\omega) \cdot D_{np}}{D_{Ea}}, \quad (2)$$

де $S_{np}(\omega)$, D_{np} – нормована спектральна щільність (м) та дисперсія (м^2) коливань профілю шляху;

$A_T(\omega)$ – теоретична амплітудно-частотна характеристика відпрацювання агрозасобом профілю шляху [15].

При ретельній спробі виключити систематичну похибку при вимірюванні прискорення вертикальних коливань агрозасобу, її частина все ж залишалася. Довірча межа Q цих залишків обчислювалася аналітично в результаті аналізу експериментальних даних за виразом [16]:

$$Q = \sqrt{\sum_{i=1}^m Q_i^2}, \quad (3)$$

де Q – межа i -тих не виключених систематичних похибок вимірювання прискорень вертикальних коливань агрозасобу;

m – число складових систематичної похибки вимірювання параметрів.

За наявності сукупностей як не виключених, так і випадкових складових похибки, довірча межа ΔA загальної похибки результатів вимірювання оцінюваного параметру обчислювалася за виразом:

$$\Delta A = \frac{\xi + Q}{S_h + \frac{Q}{\sqrt{3}}} \sqrt{S_h^2 + \left(\frac{Q}{\sqrt{3}}\right)^2}, \quad (4)$$

де ξ – довірча межа випадкової складової похибки результату вимірювання прискорень вертикальних коливань агрозасобу;

S_h – похибка вибірки, яка обчислювалася за виразом:

$$S_h = \sqrt{\frac{D_h}{n}}, \quad (5)$$

де n – кількість вимірювань;

D_h – дисперсія вимірюваного параметра.

Обчислення довірчої межі ΔA загальної похибки результатів вимірювання вертикальних прискорень \ddot{Z} агрозасобу планшетним комп'ютером за допомогою додатка Accelerometer Meter було здійснено у такий спосіб. У результаті експериментальних вимірювань параметру \ddot{Z} було встановлено, що межа не виключених систематичних похибок $Q = 0,1 \text{ м/с}^2$. Довірча межа випадкової складової похибки результату вимірювання цього параметру дорівнювало $\xi = 0,416 \text{ м/с}^2$, а похибка вибірки становила $0,395 \text{ м/с}^2$. У результаті маємо:

$$\Delta \ddot{Z} = \frac{0,416 + 0,1}{0,395 + \frac{0,1}{\sqrt{3}}} \sqrt{0,395^2 + \left(\frac{0,1}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,455 \text{ м/с}^2.$$

У відносних одиницях отримана абсолютна величина довірчої межі загальної похибки результатів вимірювання вертикальних прискорень \ddot{Z} становила не більше за 15%.

Точність опосередкованих вимірювань (амплітуд вертикальних переміщень остова агрозасобу) оцінювали за допомогою середньої квадратичної похибки [16]:

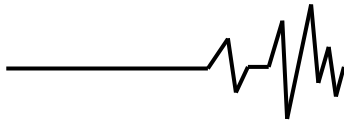
$$\sigma_{\ddot{z}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 \cdot \sigma_i^2}, \quad (6)$$

де $\partial F / \partial y$ – частинна похідна тієї функції y , яка опосередкована описує процес розрахунку амплітуд вертикальних переміщень остова агрозасобу;

σ_i – стандарт відхилення похибки вимірювання величини, яка входить складовою до функції опосередкованого розрахунку амплітуд вертикальних переміщень остова агрозасобу.

За (6) частинні похідні в даному випадку є такими:

$$\frac{\partial \ddot{Z}}{\partial \ddot{Z}} = \frac{T^2}{2};$$



$$\frac{\partial Z}{\partial T} = \ddot{Z} \cdot T.$$

В результаті маємо:

$$\sigma_Z = \sqrt{\left(\frac{T^2}{2}\right)^2 \cdot \sigma_{\ddot{Z}}^2 + (\ddot{Z} \cdot T)^2 \cdot \sigma_T^2}, \quad (7)$$

де $\sigma_{\ddot{Z}}$ і σ_T – стандарти відхилень похибок вимірювань вертикального прискорення остова агрозасобу та часу.

Загалом достовірність отриманих результатів є такою, при якій кількість випадків, в яких могли мати місце відхилення від закономірностей, установлених в процесі експериментальних досліджень, не перевищувала 10%.

Виклад основного матеріалу дослідження.

В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що графіки нормованих кореляційних функцій вертикальних коливань агрозасобу при його русі по слідах постійної технологічної колії характеризуються функцією, що містить поряд з випадковими складовими гармонійні, які виражені загасаючими періодичними коливаннями (рис. 6). Такий самий характер мають і коливання нерівностей профілю слідів постійної технологічної колії. Довжина кореляційного зв'язку становить приблизно 0,25 с, що при швидкості руху агрозасобу в межах 1,0 м/с це дорівнює 0,25 м. Отриманий результат пояснюється тим, що основний спектр коливань нерівностей профілю має періодичність, яка відповідає кроку ґрунтозачепів шин коліс агрозасобу.

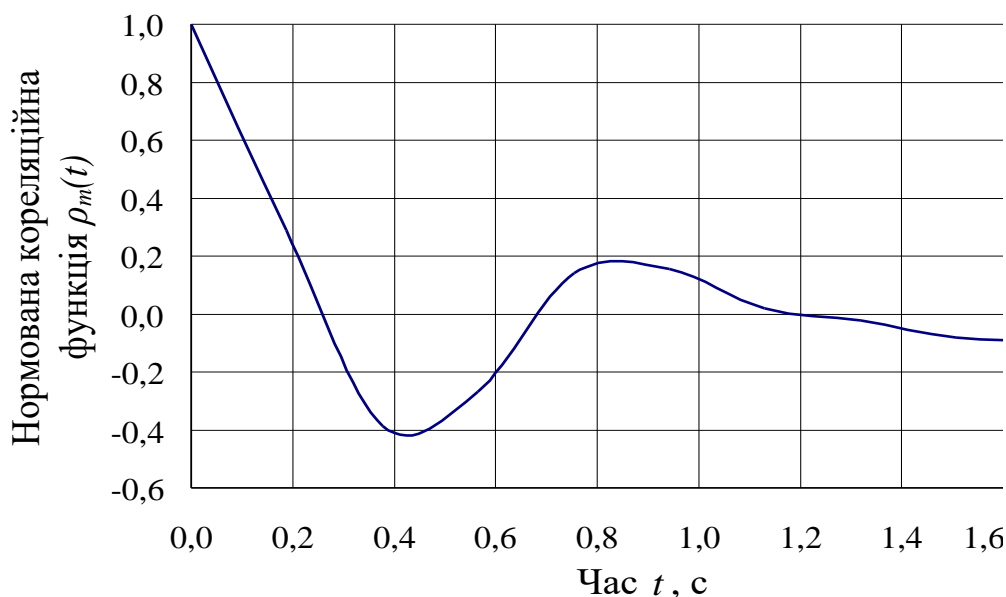


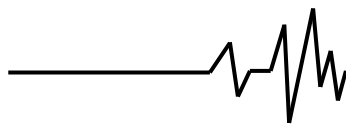
Рис. 6. Нормована кореляційна функція прискорень вертикальних коливань остова агрозасобу при його русі по слідах постійної технологічної колії

Експериментальна нормована спектральна щільність коливань остова агрозасобу при його русі по слідах постійної технологічної колії на залізничній ділянці поля, яку вимірювали за допомогою планшетного комп'ютера, представлена на рис. 6.

За даними вимірювання характеристик нерівностей поздовжнього профілю слідів постійної технологічної колії була отримана теоретична залежність її нормованої спектральної щільності (див. рис. 6). Оскільки аргументом цієї спектральної щільності є частота ω , що має одиниці вимірювання с^{-1} , то для переходу до часових одиниць (с^{-1}) абсциси

точок згадуваної спектральної щільності помножили на швидкість руху агрозасобу, а ординати – навпаки поділили на неї.

Співставлення теоретичної та експериментальної нормованих спектральних щільностей вертикальних коливань остова агрозасобу свідчить про те, що обидва процеси характеризуються приблизно однаковим характером зміни частотного діапазону (див. рис. 6). Різниця в максимальній теоретичній дисперсії, яка припадає на $\omega_T = 10 \text{ с}^{-1}$, і експериментальній $\omega_E = 9 \text{ с}^{-1}$, становить 1 с^{-1} (див. рис. 6). Що стосується перевірки нуль-гіпотези про рівність теоретичної дисперсії



$D_{Ta} = 1,21 \text{ см}^2$ і експериментальної не відхиляється на статичних рівнях значущості $D_{Ea} = 1,56 \text{ см}^2$, то згідно F-критерію Фішера вона 0,05 і 0,01.

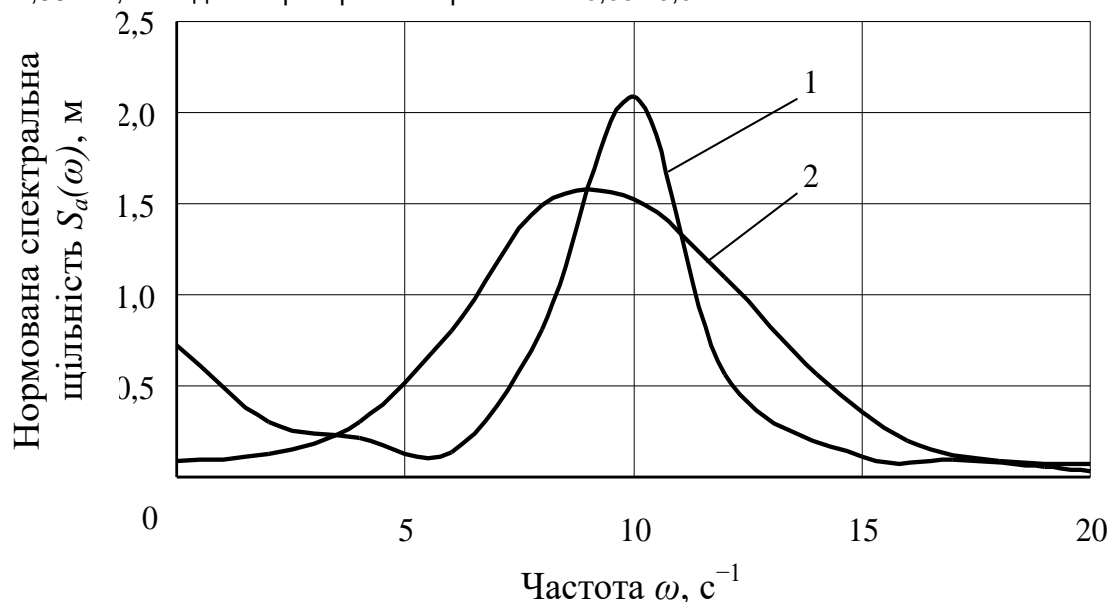


Рис. 7. Теоретична (1) та експериментальна (2) нормовані спектральні щільності вертикальних коливань остова агрозасобу

Спектр частот коливань остова агрозасобу зосереджений в діапазоні від 0 до 20 с^{-1} (див. рис. 7). Такий результат узгоджується із діапазоном частот $0 \dots 0,3 \text{ см}^{-1}$ в якому зосереджені дисперсії коливань нерівностей профілю слідів технологічної колії.

Проведені дослідження підтверджують той факт, що для експериментальної реєстрації таких параметрів сільськогосподарського агрегату, як вертикальні переміщення і прискорення, достатньо планшетного комп'ютера на базі Android з вбудованими в нього датчиками акселерометра і додатка Accelerometer Meter.

Висновки.

Графіки нормованих кореляційних функцій вертикальних коливань мостового агрозасобу при його русі по слідах постійної технологічної колії характеризується функцією, що містить поряд з випадковими складовими гармонійні, які виражені загасаючими періодичними коливаннями. Довжина кореляційного зв'язку становить приблизно $0,25 \text{ с}$, що при швидкості руху агрозасобу в межах $1,0 \text{ м/с}$ це дорівнює $0,25 \text{ м}$. Отриманий результат пояснюється тим, що основний спектр коливань нерівностей профілю має періодичність, яка відповідає кроку ґрунтозачепів шин коліс агрозасобу.

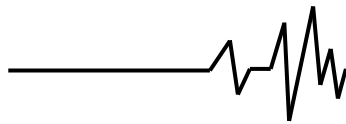
Спектр частот коливань остова агрозасобу зосереджений в діапазоні від 0 до 20 с^{-1} . Такий результат узгоджується із діапазоном частот $0 \dots 0,3 \text{ см}^{-1}$ в якому зосереджені дисперсії коливань нерівностей профілю слідів технологічної колії.

Співставлення теоретичної та експериментальної нормованих спектральних щільностей вертикальних коливань остова агрозасобу свідчить про те, що обидва процеси характеризуються приблизно однаковим характером зміни частотного діапазону. Перевірки нуль-гіпотези про рівність теоретичної дисперсії $D_{Ta} = 1,21 \text{ см}^2$ і експериментальної $D_{Ea} = 1,56 \text{ см}^2$ за F-критерієм Фішера показала, що вона не відхиляється на статичних рівнях значущості 0,05 і 0,01.

Проведені дослідження підтвердили ефективність методики оцінювання інтенсивності вертикальних коливань сільськогосподарського агрегату вимірювально-реєстраційним комплексом на базі планшетного комп'ютера з операційною системою Android з вбудованими в нього датчиками акселерометра і додатка Accelerometer Meter.

Список використаних джерел

1. Volodymyr K., Serhii K., Tomasz N., Tetiana C., Vasyl M., Yevhen I., Szymon G., Taras H., Sergii S., Oleksandr D. (2021). Scientific bases of increase movement smoothness of the machine-tractor units on base of modular power means. Monograph – Warszawa: 136 p. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv>.
2. Кутьков Г.М. (2015). Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства: учебник. Москва: НИЦ ИНФРА. – 506 с.
3. ГОСТ ИСО 10326-1. (2002). Вибрация. Оценка вибрации сидений



транспортных средств по результатам лабораторных испытаний. Москва: Изд. стандартов. – 8 с.

4. ГОСТ 12.4.012-75.(1975). Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрация. Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования. Москва: Изд. стандартов. 5 с.

5. ГОСТ 12.4.025-76.(1976). Система стандартов безопасности труда. Вибрация. Методы расчета виброизоляции рабочего места операторов самоходных машин. Основные положения. М.: Изд. Стандартов. 57 с.

6. Отраслевая нормаль автомобилестроения ОН 25332-69. (1976). Автомобильный подвижной состав. Плавность хода. Методы испытаний. М.: Изд. стандартов. 57 с.

7. ОСТ 37.001.291-84. (1984). Автотранспортные средства. Технические нормы плавности хода. Москва.: Изд. стандартов. 8 с.

8. ДСТУ EN ISO 5349-1 (2005). Вібрація механічна. Вимірювання та оцінювання впливу на людину вібрації. Частина 1: Загальні вимоги (EN ISO 5349-1:2001, IDT).

9. ДСТУ EN ISO 5349-1 (2005). Вібрація механічна. Вимірювання та оцінювання впливу на людину вібрації. Частина 2: Практична настанова з вимірювання на робочому місці. (EN ISO 5349-1:2001, IDT).

10. ISO 10056 (2001). Mechanical vibration – Measurement and analysis of whole – body vibration to which passengers and crew are exposed in vehicles.

11. EN 1032 (2003). Mechanical vibration – Testing of mobile machinery in order to determine the vibration emission value.

12. Автотранспортные средства. Методы испытаний на плавность хода : ОСТ 37.001.275. Москва : НАМИ, 1985. 12 с.

13. Bulgakov V., Olt J., Kuvachov V. et al. A theoretical and experimental study of the traction properties of agricultural gantry systems. *Agraarteadus: Journal of Agricultural Science*. 2020. № XXXI (1). P. 10–16. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv>.

14. Надикто В.Т. (2017). Основы научных исследований: учебник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 268 с.

15. Bulgakov V., Adamchuk V., Kuvachov V. (2017). Study into movement of wide span tractors (vehicles) used in controlled traffic farming. *Proceedings 28th DAAAM International Symposium «Intelligent Manufacturing And Automation»* (08 – 11th November, Zadar, Croatia) / DAAAM International. Vienna, Austria. P. 0199–0208. URL:

<http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv>.

16. Жильцов О.Б. Теорія ймовірностей та математична статистика у прикладах і задачах: навч. посіб. Київ: Університет ім. Б. Грінченка. 2015. 336 с.

References

1. Volodymyr K., Serhii K., Tomasz N., Tetiana C., Vasyl M., Yevhen I., Szymon G., Taras H., Sergii S., Oleksandr D. (2021). Scientific bases of increase movement smoothness of the machine-tractor units on base of modular power means. Monograph – Warszawa. 136 p. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv>.

2. Kut'kov G.M. (2015). Traktory i avtomobili: teoriya i tekhnologicheskie svoystva: uchebnik. Moskva: NIC INFRA, 506 s.

3. GOST ISO 10326-1. (2002). Vibraciya. Ocenka vibracii sidenij transportnyh sredstv po rezul'tatam laboratornyh ispytaniy. Moskva: Izd. standartov. 8 s.

4. GOST 12.4.012-75. (1975). Sistema standartov bezopasnosti truda (CCBT). Vibraciya. Sredstva izmereniya i kontrolya vibracii na robochih mestah. Tekhnicheskie trebovaniya. Moskva: Izd. standartov. 5 s.

5. GOST 12.4.025-76. (1976). Sistema standartov bezopasnosti truda. Vibraciya. Metody rascheta vibroizolyacii rabocheho mesta operatorov samohodnyh mashin. Osnovnye polozheniya. M.: Izd. Standartov. 57 s.

6. OTRASLEVAYA normal' avtomobilestroeniya ON 25332-69. (1976). Avtomobil'nyj podvizhnoj sostav. Plavnost' hoda. Metody ispytaniy. M.: Izd. standartov. 57 s.

7. OST 37.001.291-84. (1984). Avtotransportnye sredstva. Tekhnicheskie normy plavnosti hoda. Moskva.: Izd. standartov. 8 s.

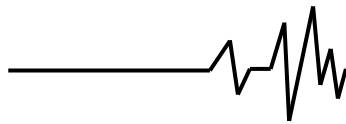
8. DSTU EN ISO 5349-1. (2005). Vibraciya mekhanichna. Vimiryuvannya ta ocinyuvannya vplivu na lyudinu vibracii. CHastina 1: Zagal'ni vimogi (EN ISO 5349-1:2001, IDT).

9. DSTU EN ISO 5349-1.(2005). Vibraciya mekhanichna. Vimiryuvannya ta ocinyuvannya vplivu na lyudinu vibracii. CHastina 2: Praktichna nastanova z vimiryuvannya na robochomu misci. (EN ISO 5349-1:2001, IDT).

10. ISO 10056 (2001). Mechanical vibration – Measurement and analysis of whole – body vibration to which passengers and crew are exposed in vehicles.

11. EN 1032 (2003). Mechanical vibration – Testing of mobile machinery in order to determine the vibration emission value.

12. Avtotransportnye sredstva. Metody ispytaniy na plavnost' hoda : OST 37.001.275. Moskva : NAMI, 1985. 12 s.



13. Bulgakov V., Olt J., Kuvachov V. et al. A theoretical and experimental study of the traction properties of agricultural gantry systems. *Agraarteatus: Journal of Agricultural Science*. 2020. № XXXI (1). P. 10–16. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv>.

14. Nadikto V.T. (2017). *Osnovi naukovih doslidzhen': pidruchnik*. Herson: OLDI–PLYUS, 268 s.

15. Bulgakov V., Adamchuk V., Kuvachov V. (2017). Study into movement of wide span tractors (vehicles) used in controlled traffic farming. *Proceedings 28th DAAAM International Symposium «Intelligent Manufacturing And Automation» (08 – 11th November 2017, Zadar, Croatia) / DAAAM International*. Vienna, Austria, 2017. P. 0199–0208. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/mvz/naukova-dijalnist/statti-vykladachiv>.

16. ZHil'cov O.B.(2015). *Teoriya jmovirnostej ta matematichna statistika u prikladah i zadachah: navch. posib*. Kiïv: Universitet im. B. Grinchenka, 336 s.

EXPERIMENTAL RESEARCH INTENSITY OF OSCILLATIONS AGRICULTURAL MACHINE-TRACTOR UNITS

Smoothness of movement of agricultural units is one of the important operational indicators of their work which is estimated on influence of fluctuations (translational vertical, cross, angular longitudinal, etc.) The article presents the method and results of experimental assessment of the smoothness of the movement of the bridge agricultural unit, which moves in the footsteps of a constant technological track. Studies of the smoothness of the bridge unit showed that the graphs of normalized correlation functions of vertical oscillations of the bridge agricultural tool developed by us in its motion in the wake of a constant technological track is characterized by a function containing along with random components harmonic, which are expressed by attenuating periodic oscillations. The frequency spectrum of oscillations of the agricultural tool core is concentrated in the range from 0 to 20 s⁻¹, which agrees with the frequency range 0...0.3 cm⁻¹ in which the variances of oscillations of the irregularities of the profile of the traces of the technological track are concentrated. The length of the correlation connection is approximately 0.25 s, which is equal to 0.25 m at the speed of the agricultural tool within 1.0 m / s. The obtained result is explained by the fact that the main spectrum of oscillations of the profile irregularities has a periodicity that corresponds to the step of

ground engagement of the tires of the wheels of the agricultural tool.

The research confirmed the effectiveness of the method of estimating the intensity of vertical oscillations of an agricultural unit by a measuring and registration complex based on a tablet computer with Android operating system with built-in accelerometer sensors and Accelerometer Meter application.

Key words: *smoothness of movement, agricultural unit, technique, intensity of vertical oscillations, accelerometer, experimental researches.*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ КОЛЕБАНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИНО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Плавность движения сельскохозяйственных агрегатов - один из важных эксплуатационных показателей их работы, который оценивают по воздействию колебаний (поступательных вертикальных, поперечных, угловых продольных и др.). В статье представлена методика и результаты экспериментальной оценки плавности движения мостового сельскохозяйственного агрегата, который движется по следам постоянной технологической колеи. Проведенные исследования плавности движения мостового агрегата показали, что графики нормированных корреляционных функций вертикальных колебаний мостового агросредства разработанной нами конструкции при его движении по следам постоянной технологическом пути характеризуется функцией, содержит наряду со случайными составляющими гармоничные, выраженные затухающими периодическими колебаниями. Спектр частот колебаний остова агросредства сосредоточен в диапазоне от 0 до 20 с⁻¹, что согласуется с диапазоном частот 0 ... 0,3 см⁻¹ в котором сосредоточены дисперсии колебаний неровностей профиля следов технологической колеи. Длина корреляционной связи составляет примерно 0,25 с, при скорости движения агросредства в пределах 1,0 м / с это равно 0,25 м. Полученный результат объясняется тем, что основной спектр колебаний неровностей профиля имеет периодичность, которая соответствует шагу грунтозацепов шин колес агросредства.

Проведенные исследования подтвердили эффективность методики оценки интенсивности вертикальных колебаний сельскохозяйственного агрегата



измерительно-регистрационным комплексом на базе планшетного компьютера с операционной системой Android со встроенными в него датчиками акселерометра и приложения Accelerometer Meter.

Ключевые слова: плавность движения, сельскохозяйственный агрегат, методика, интенсивность вертикальных колебаний, акселерометр, экспериментальные исследования.

Відомості про авторів

Булгаков Володимир Михайлович – академік НААН, д.т.н., професор, завідувач кафедри механіки Національного університету біоресурсів і природокористування України (15, вул. Героїв Оборони, м. Київ, 03041; e-mail: vbulgakov@meta.ua)

Кувачов Володимир Петрович – д.т.н., доцент, завідувач кафедри машиновикористання в землеробстві Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312; e-mail: kuvachoff@ukr.net)

Солоня Олена Василівна – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net)

Борис Микола Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії і системотехніки Подільського державного аграрно-технічного університету (вул. Шевченка, 13, Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський, 32316, e-mail: mvpark@pdatu.edu.ua)

Булгаков Владимир Михайлович – академик НААН, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой механики Национального университета биоресурсов и природопользования Украины (ул. Героев Оборон, 15, г. Киев, 03041 e-mail: vbulgakov@meta.ua)

Кувачов Владимир Петрович – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой машиноиспользования в земледелии Таврического государственного агротехнологического университета имени Дмитрия Моторного (пр. Б. Хмельницкого, 18, г. Мелитополь, Запорожская обл., 72312; e-mail: kuvachoff@ukr.net)

Солоня Елена Васильевна – кандидат технических наук, доцент заведующая кафедрой общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net)

Борис Николай Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры агроинженерии и системотехники Подольского государственного аграрно-технического университета (ул. Шевченко, 13, Хмельницкая обл., г. Каменец-Подольский, 32316, e-mail: mvpark@pdatu.edu.ua)

Bulgakov Volodymyr – Academician of NAAS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechanics of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, (15, Heroyiv Oborony Str., Kyiv, 03041, e-mail: vbulgakov@meta.ua)

Kuvachov Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Machine Use in Agriculture of the Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University (18, Khmelnytsky Ave., Zaporozhye Region, Melitopol, 72312; e-mail: kuvachoff@ukr.net)

Solona Olena – Candidate of Technical Sciences, (Ph. D in Engineering), Associate Professor, Head of the Department of General Technical Disciplines and Occupational Safety, Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonyachna Str., Vinnytsia, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net)

Boris Mykola – Candidate of Technical Sciences, (Ph. D in Engineering), Associate Professor of the Department of Agroengineering and Systems Engineering of State Agrarian and Engineering University in Podilia (13, Shevchenko Str., Khmelnytsky region, Kamenets-Podolsky, 32316, e-mail: mvpark@pdatu.edu.ua)