



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-2-2

УДК 631.3.07

Д. П. Журавель, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

А. М. Бондар, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4761-9084

Г. І. Дашивець, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-2612-6077

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua, тел.: (096) 68782453

МЕТОДИКА ОБРОБКИ ЕМПІРИЧНИХ ДАНИХ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КОЛІСНОЇ МАШИНИ

Анотація. Сучасні колісні трактори в даний час використовуються в усіх кліматичних зонах на різних сільськогосподарських операціях. Однак враховуючи різні умови експлуатації усі їх можливості використовуються не завжди раціонально. Головним напрямком підвищення продуктивності тракторів під час виконання технологічних операцій є максимальне підвищення швидкості руху із дотриманням агротехнічних вимог. Однак робота на таких швидкісних режимах часом призводить до погіршення стабільності технологічних процесів у зв'язку із збільшенням чутливості рульового керування. Сучасна промисловість не випускає таку сільськогосподарську техніку, рульове керування якої повністю відповідало усім вимогам. У статті розглянуті параметри руху машинно-тракторного агрегату під час виконання технологічних операцій на підвищених швидкостях руху. Наведені припущення, які дають змогу проаналізувати запропоновану математичну модель на різних швидкісних режимах. За допомогою формул математичної статистики для отриманих у результаті експерименту даних були обчислені моменти й визначені числові характеристики. Було проведено визначення на відповідність нормальному закону розподілення, яке знайдено шляхом порівняння значень коефіцієнтів асиметрії й ексцесу, стандартних відхилень.

При дослідженні діаграм розсіювання досліджувалися форми залежностей для вибору відповідного перетворення даних. На підставі цих перетворень з'явилася можливість «лінеаризувати» дискретні значення змінних. Для розрахунку й побудови спектральної характеристики був використаний алгоритм прямого Швидкого Перетворення Фур'є.



Ключові слова: рульове керування, добротність, передаточне відношення рульового механізму, колісна база, відхилення, якість роботи.

Постановка проблеми. Сучасні колісні трактори в даний час використовуються в усіх кліматичних зонах на різних сільськогосподарських операціях. Однак враховуючи різні умови експлуатації усі їх можливості використовуються не завжди раціонально [1-3].

Головним напрямком підвищення продуктивності тракторів під час виконання технологічних операцій є максимальне підвищення швидкості руху із дотриманням агротехнічних вимог. Однак робота на таких швидкісних режимах часом призводить до погіршення стабільності технологічних процесів у зв'язку із збільшенням чутливості рульового керування [4,5].

Сучасна промисловість не випускає таку сільськогосподарську техніку, рульове керування якої повністю відповідало усім вимогам. Тому актуальними є наукові роботи, направлені на дослідження рульових керувань, які можуть працюють на підвищених швидкісних режимах та забезпечувати дотримання агротехнічних вимог [6-8].

Аналіз останніх досліджень. Для дослідників дуже важливо мати уявлення про методологію та методи емпіричних досліджень, оскільки саме на перших кроках до оволодіння необхідними навичками наукової роботи найбільше виникає питань саме методологічного характеру. Передусім бракує досвіду у використанні методів наукового пізнання, застосуванні логічних законів і правил, нових засобів і технологій.

Розв'язанням проблем, пов'язаних із методологією дослідження процесів у сільському господарстві займалась велика кількість вітчизняних науковців: М. Г. Білуха, О. В. Крушельницька, О. М. Царенко, Д. Г. Войтюк, В. М. Швайко та ін. Підходи, які вони пропанують, дають змогу значно скоротити час на дослідження та підвищити її якість [9-15].

Тому є сенс розглянути ці роботи докладніше та використати їх у поточному дослідженні.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Підвищення ефективності роботи колісних тракторів при виконанні сільськогосподарських операцій шляхом використання рульового керування із адаптивним передаточним відношенням.

Основні матеріали дослідження. Суттю експериментального моделювання є намагання отримати максимальне значення добротності на підвищених швидкостях руху МТА. При цьому обумовимо наступні припущення та умовності:



- швидкість МТА буде змінюватись від 1 до 4 м/с (3,6 - 14,4 км/год);

- передаточне відношення рульового механізму (стандартного рульового керування) дорівнює 12;

- передаточне відношення рульового механізму (експериментального варіанта) змінюється в автоматичному режимі (адаптивно) від 2 до 12;

- збурюючі впливи зовнішніх факторів впливають на керуючі колеса та відхиляють їх від нейтрального положення в межах від 0^0 до 5^0 ;

- початок формування даних буде відбуватися лише після того, коли машинно-тракторний агрегат досягне визначеної швидкості руху;

- довжина колісної бази 2,7 м.

Для отриманих у результаті експерименту даних були обчислені моменти й визначені числові характеристики за допомогою формул математичної статистики [16-17].

Для вибірки об'єму N (одномірний масив x_i) отримані:

- початкові моменти k - го порядку ($k = 1 \div 4$)

$$m_k(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^k, \quad (1)$$

- середнє значення абсолютних величин вибірки, (а також розмах вибірки)

$$m_1(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i|, \quad (2)$$

- центральні моменти k - го порядку ($k = 1 \div 4$)

$$M_2 = m_2 - m_1^2, \quad (3)$$

$$M_3 = m_3 - 3m_1 m_2 + 2m_1^3, \quad (4)$$

$$M_4 = m_4 - 4m_1 m_3 + 6m_1^2 m_2 - 3m_1^4, \quad (5)$$

- середнє значення

$$\bar{x} = m_1(x), \quad (6)$$

- дисперсія

$$D = M_2, \quad (7)$$



- виправлена дисперсія

$$D_0 = \frac{N}{N-1} \cdot M_2, \quad (8)$$

- стандартне відхилення

$$\sigma_0 = \sqrt{D_0}, \quad (9)$$

- асиметрія

$$A_s = \frac{M_3}{\sigma_3^3}, \quad (10)$$

- ексцес

$$E = \frac{M_4}{\sigma_4^4} - 3, \quad (11)$$

Визначення на відповідність нормальному закону розподілення було знайдено шляхом порівняння значень коефіцієнтів асиметрії й ексцесу, стандартних відхилень на підставі формул:

$$U_3 = \sqrt{\frac{6(N-1)}{(N+1)(N+3)}}, \quad (12)$$

$$U_4 = \sqrt{\frac{24(N-2)(N-3)N}{(N-1)^2(N+3)(N+5)}}, \quad (13)$$

При

$-|A_s| \leq 2 \cdot U_3, |E| \leq 2U_4$ - розподіл досить близький до нормального (правило трьох сигм);

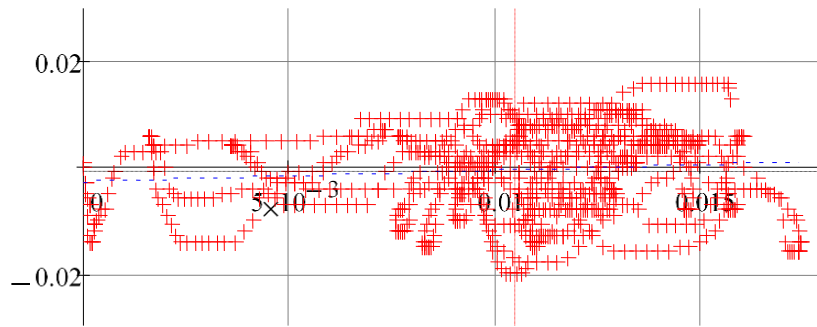
$-2U_3 < |A_s| \leq 3 \cdot U_3, 2U_4 < |E| \leq 3U_4$ - розподіл близький до нормального за скошеністю та гостровершиністю; інакше - не підкоряється нормальному закону розподілу.

У якості перевірки діючого обладнання додатково були зроблені розрахунки в пакеті Mathcad числових характеристик для випадкових величин X (відхилення трактора від базової лінії) і Y (відхилення рульового колеса від нейтрального положення), перевірка на нормальний закон розподілу.

Додатково розглядався регресійний аналіз і коефіцієнт кореляції двох випадкових величин X і Y (рис. 1).

$$r_{xy} = \frac{m_2(X, Y) - m_1(X) \cdot m_1(Y)}{\sqrt{m_2(X) - m_1(X)^2} \cdot \sqrt{m_2(Y) - m_1(Y)^2}} \quad (14)$$

$$a = r_{xy} \frac{\sigma_Y}{\sigma_X}, \quad b = \bar{Y} - a\bar{X}. \quad (15)$$



Відхилення рульового колеса від нейтрального положення

- де +++ - відповідні значення X та Y;
- - середнє значення величини X;
- - середнє значення величини Y.

Рисунок 1. Регресійний аналіз випадкових значень X та Y
Обробка даних розглядалася в пакеті Statistica 6 і Mathcad.

Для розглянутих вибірок, можна стверджувати, що випадкові величини підпорядковуються нормальному закону розподілу. Лінійні залежності для кореляційного аналізу мають малий коефіцієнт кореляції, що говорить про слабку лінійну залежність. По діаграмах розсіювання (рис. 2) спостерігається нелінійна залежність, (крапки утворюють овальну «хмару»).

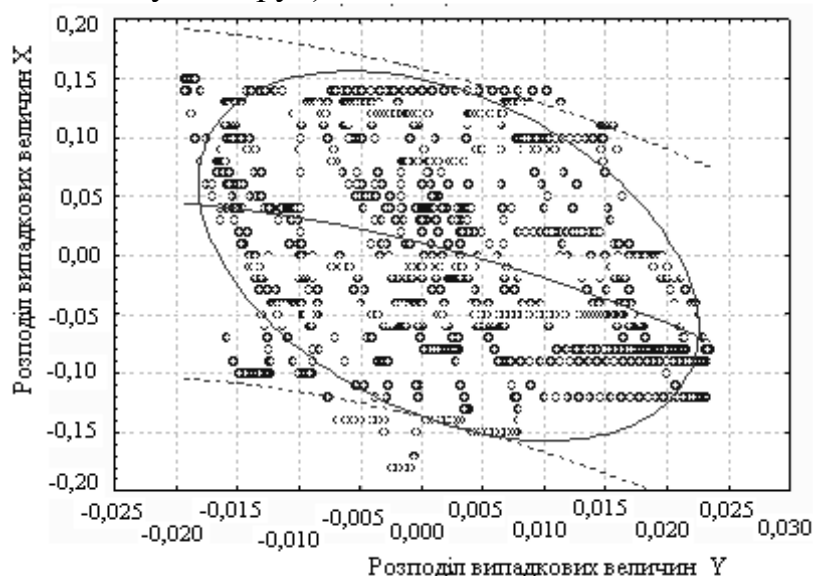


Рисунок 2. Залежність розсіювання випадкових величин X і Y

Для випадкової величини Y можна відзначити гостровершинність стосовно нормального закону розподілу (рис. 3).

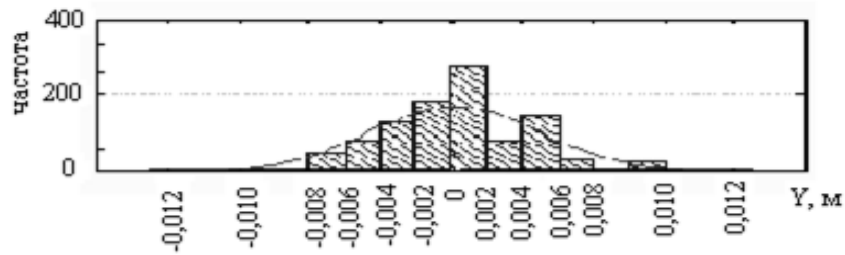


Рисунок 3. Гістограма та вирівняна крива розподілу значень відхилення МТА від базової лінії Y

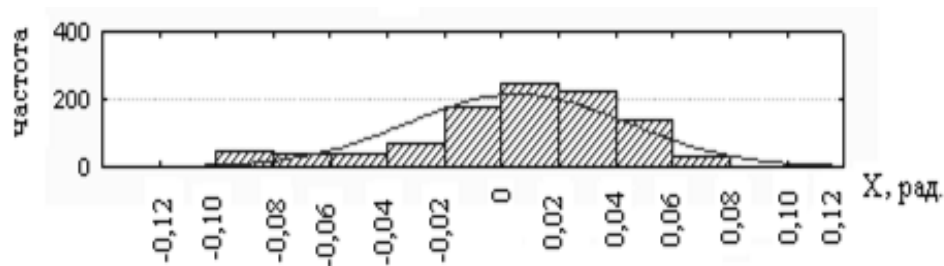


Рисунок 4. Гістограма та вирівняна крива розподілу значень зміни кута повороту рульового колеса X

За результатами розрахунків отримуємо наступну залежність:

$$Y=0,0014+0,1813 \cdot x-27,5303 \cdot x^2$$

При дослідженні діаграм розсіювання досліджувалися форми залежностей для вибору відповідного перетворення даних. На підставі цих перетворень з'явилася можливість «лінеаризувати» дискретні значення змінних.

З метою усунення шуму використовується спектральний аналіз.

Для розрахунку й побудови спектральної характеристики був використаний алгоритм прямого Швидкого Перетворення Фур'є (ШПФ) (рис. 5).

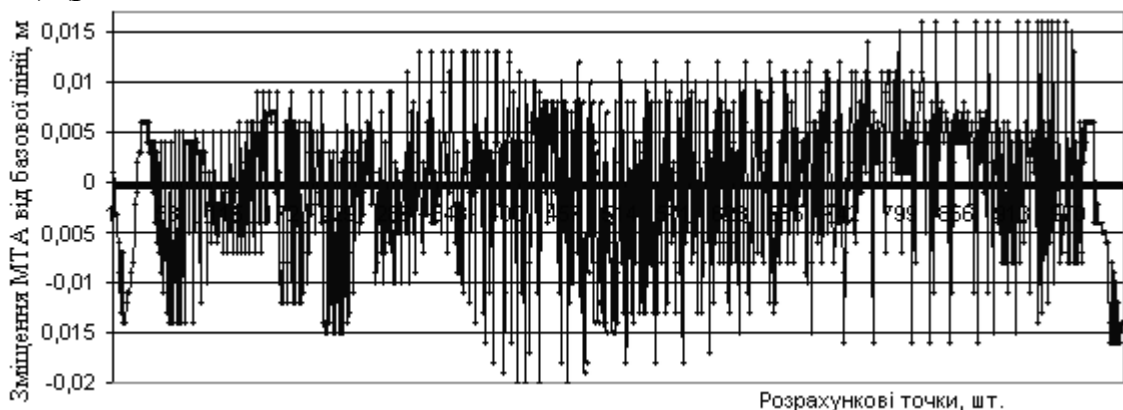


Рисунок 5. Вихідні модельні дані для Швидкого Перетворення Фур'є.

Лістинг демонструє розрахунок Фур'є спектра по $N = 256$ крапках, причому передбачається, що інтервал дискретизації даних u_i дорівнює Δ (рис. 6).

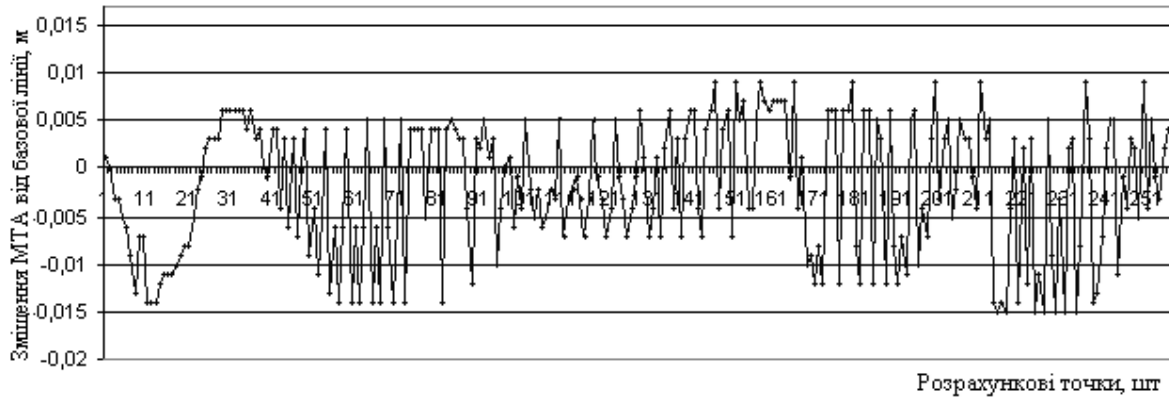


Рисунок 6. Модельні дані для вибірки об'єму $N = 256$.

У середині лістингу застосовується вбудована функція $\text{fft}(V)$, а інша частина, що залишилася, призначена для коректного перерахування відповідних значень Ω_i частот.

Два параметри, які задані в лістингу, називають відповідно граничною частотою й частотою Найквіста. Гранична частота Ω_0 визначає нижню межу Найквіста, Ω_N - верхню межу аргументу обчислення спектра.

Для розрахунку зворотного Фур'є-перетворення (відновлення сигналу по наявному спектру) використовуються вбудовані функції:

$\text{ifft}(v)$ - вектор зворотного дійсного перетворення Фур'є;

v - вектор даних Фур'є-спектра, взятих через рівні проміжки значень частоти.

Лістинг програми проведений у пакеті Mathcad.

Бачимо, що сигнал відновлений з великою точністю. Зсув вздовж осі X відбувається за рахунок того, що абсолютна величина комплексного спектра в програмному блоці знищує інформацію про відносну фазу звітів даних (рис. 7).

Визначається спектр потужності сигналу – Фур'є–перетворення його кореляційної функції.

Алгоритм розрахунку спектра потужності зводиться до наступного:

- обчислення автокореляційної функції;
- проріджування й згладжування функції (з метою зменшення впливу кінцівки вибірки);
- розрахунок її Фур'є - перетворення.

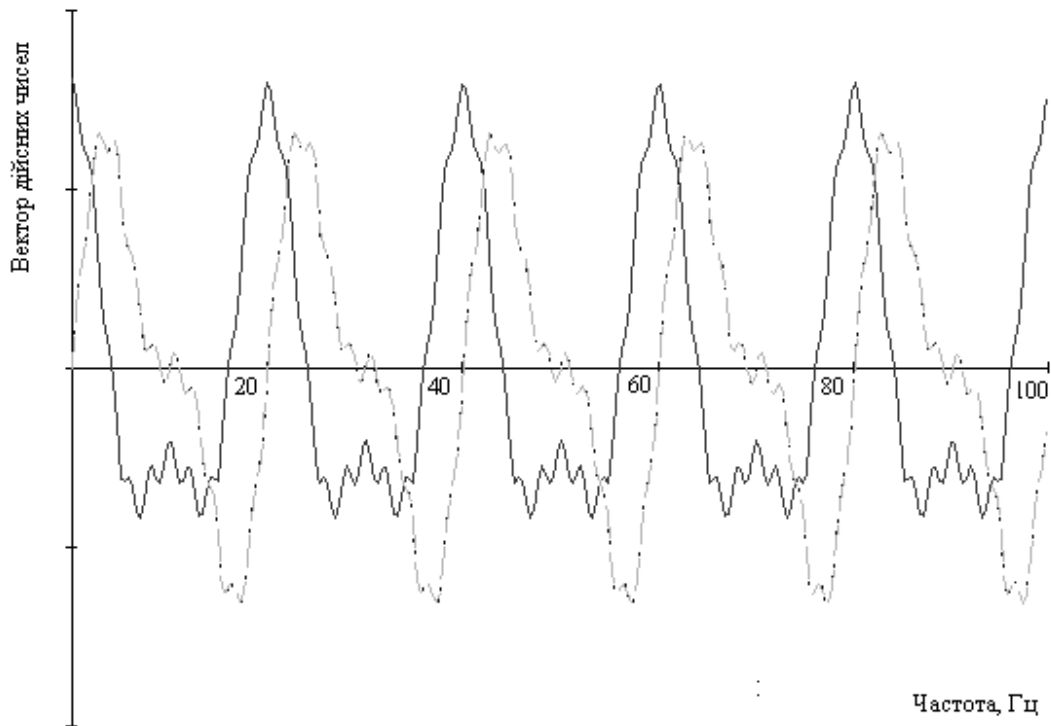


Рисунок 7. Зворотне перетворення Фур'є

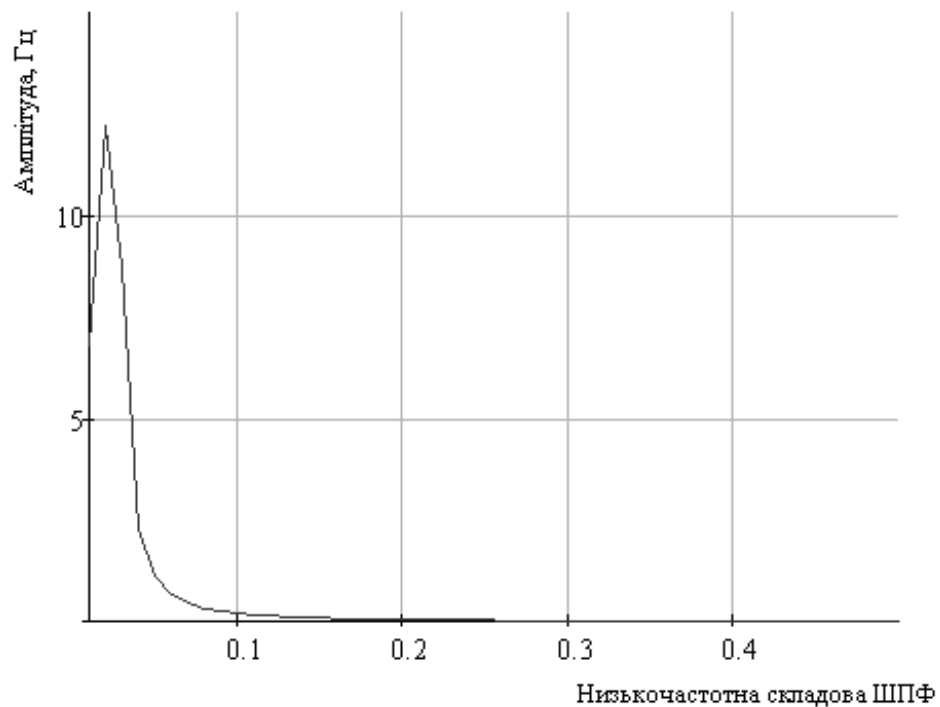


Рисунок 8. Графік Фур'є-спектра даних

При побудові спектральних характеристик аналізованих числових рядів застосовувалася процедура згладжування послідовно за трьома і п'ятьма точками [7,8].

Крім цього виділені гармоніки з максимальною амплітудою по формулах:



$$T_1 = \sum_{i=0}^{N/2-1} A_i \cdot i, \quad (16)$$

$$T_2 = \sum_{i=0}^{N/2-1} A_i \quad (17)$$

$$\nu_{хар} = \frac{T_1 \cdot N}{T_2 \cdot \Delta t} \quad (18)$$

$$A_{хар} = \frac{2T_2}{N}, \quad (19)$$

де A_i - амплітуда гармоніки;

i - номер гармоніки, що визначає число коливань за час $N \cdot \Delta t$

N - число реалізацій аналізованого процесу;

Δt - крок дискретизації за часом;

$\nu_{хар}$ - характерна частота, Гц;

$A_{хар}$ - характерна амплітуда (середня) процесу.

Спектральний аналіз представлений графічно на рисунку 9.

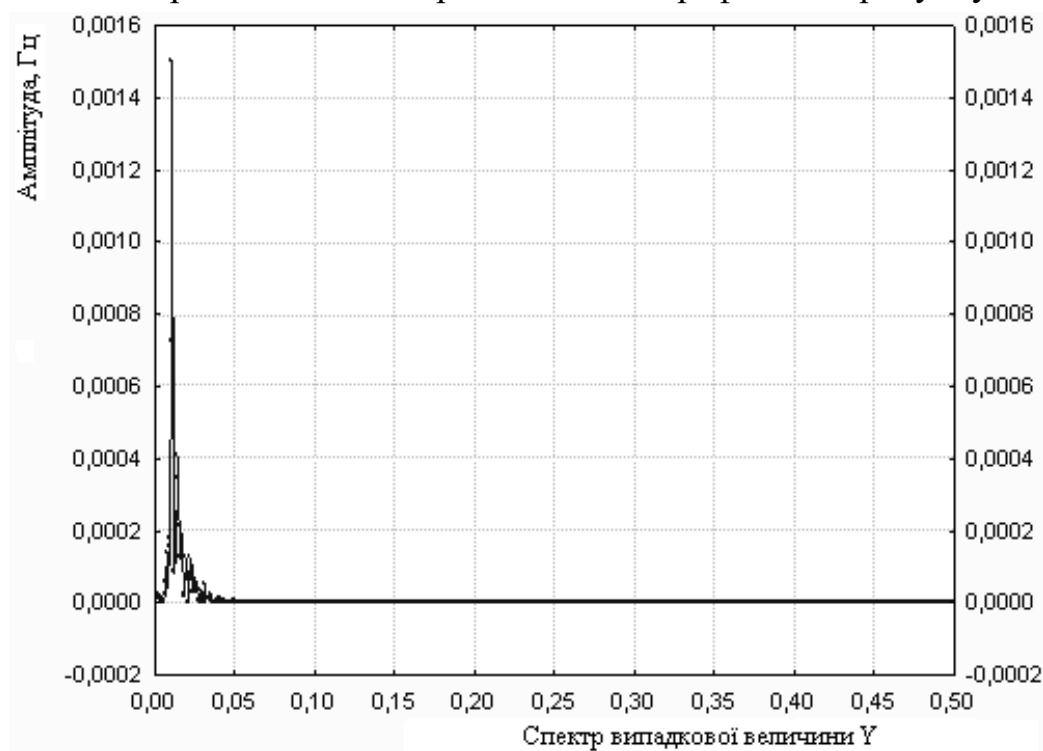


Рисунок 9. Спектральний аналіз випадкової величини Y



Значення автокореляційної функції представлені в табл. 1.

Таблиця 1.

Автокореляційні значення та похибки

№	Автокореляція	Стандартна похибка
1	0,98	0,03
2	0,96	0,03
3	0,93	0,03
4	0,90	0,03
5	0,85	0,03
6	0,80	0,03
7	0,75	0,03
8	0,69	0,03
9	0,63	0,03
10	0,57	0,03
11	0,50	0,03
12	0,43	0,03
13	0,36	0,03
14	0,29	0,03
15	0,23	0,03

Висновки.

1. Проаналізована схема переміщення машинно-тракторного агрегату вздовж базової лінії та математична модель руху МТА під час виконання сільськогосподарських операцій, при цьому передаточне відношення рульового механізму змінюється в залежності від швидкості руху - адаптивно.

2. Для розрахунку й побудови спектральної характеристики був використаний алгоритм прямого Швидкого Перетворення Фур'є (ШПФ).

3. Розроблений алгоритм розрахунку спектра потужності, який зводиться до наступного: обчислення автокореляційної функції; проріджування й згладжування функції (з метою зменшення впливу кінцівки вибірки); розрахунок її Фур'є - перетворення.

4. Внаслідок розрахунку математичної моделі були отримані дані і з'ясовано, що досліджувані процеси підпорядковуються нормальному закону розподілення, і можуть бути обчислені за допомогою формул математичної статистики.

5. Розраховані автокореляційні функції для величин X (зміщення рульового колеса від нейтрального положення) та Y (зміщення машинно-тракторного агрегату від базової лінії).



Список використаних джерел

1. Boltianskyi B., Sklyar R., Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. *Processes*, 2021, 9(7), 1144; <https://doi.org/10.3390/pr9071144>
2. Komar A. S. Fertilization of poultry manure by granulation. *Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production: Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference*. 2019. Pp. 18–20.
3. Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Social function of science, teaching and learnin: Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference*. Bordeaux. 2020. Pp. 478-480.
4. Grigorenko S. Technical means for mechanization of processes in livestock farms. *Theory, practice and science: Abstracts of V International Scientific and Practical Conference*. Tokyo, Japan 2021. Pp. 255-257.
5. Manita I. Y. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. 2021. №1(19). pp. 7–12.
6. Новік О. Ю., Петренко К. Г., В'юник О. В. Технічний сервіс мехатронних систем: навчально-методичний посібник до самостійної роботи. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2021. 140 с.
7. Сорваніді Ю. Г., Новік О. Ю. Технічний сервіс в АПК: навчально-методичний посібник до самостійної роботи. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2021. 157 с.
8. Журавель Д.П. Перспективний спосіб підвищення керованості колісних машин. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 4. 279 с.
9. Патент України на корисну модель UA № 134295 МПК B62D1/18. Тактильне рульове керування транспортного засобу з проекцією напрямку руху / Д. П. Журавель, А.М. Бондар. - № у 2018 12298; заявл. 11.12.2018; опубл. 10.05.2019, бюл. №9.
10. Патент України на корисну модель UA № 146117 МПК B62 D 1/18. Тактильне рульове керування транспортного засобу з GPS корекцією напрямку руху. / В.О. Петров, Г.І. Дашивець - № у 2020 05305. Дата публікації відомостей про видачу патенту 21.01.2021, бюл. №3.
11. Патент України на корисну модель UA № 146463 МПК B62 D 1/04. Рульове керування транспортного засобу з GPS корекцією напрямку руху / В.О. Петров, О.Ю. Новік. № у 2020 05323. Дата публікації відомостей про видачу патенту 25.02.2021, бюл. №8.



12. Бондар А.Н. Пути повышения качества отслеживания траектории мобильных машин. *Motrol. Lublin*, 2015, Vol. 17, №9. P. 3–8.

13. Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. *Multidisciplinary academic research. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference*. Amsterdam, Netherlands 2021. P.83–86.

14. Бондар А.Н. Метод контроля системы управления колесной машины с целью обеспечения эффективной работы. *Motrol. Lublin*. 2016. Vol. 17, №9. P. 8.

15. Boltianska N. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and education: Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference*. Athens, Greece 2021. P. 231–233.

16. Serebryakova N. Safety measures during operation of biogas plant. *OSHAgro – 2021: Збірник тез I Міжн. наук.-практ. конф.* Київ: НУБіП, 2021. С. 22–24.

17. Neparko T. Increasing the performance of the park of equipment with Telematics. *Інформаційні технології в енергетиці та АПК: матер. X-ої Міжн. наук.-практ. конф.* ЛНАУ, 2021. С. 51–54.

Стаття надійшла до редакції 28.03.2022 р.

D. Zhuravel, A. Bondar, H. Dashyvets

**Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
METHOD OF PROCESSING EMPIRICAL DATA OF QUALITATIVE
INDICATORS OF WHEEL MACHINE OPERATION**

Summary

At the article, the parameters of the movement of the machine-tractor unit (MTA) are examined for the hour of the completion of technological operations on moving the movement of the movement.

Introduced allowances, to give an opportunity to analyze the offered mathematical model in different modes. For additional formulas of mathematical statistics for subtracting from the results of the experiment, data were calculated moments and assigned numerical characteristics. Was carried out the appointment for compliance with the normal law of division, as it was found by way of matching the values of the coefficients of asymmetry and excess, standard deviations. At the cost of the re-verification of the acting stand, there were additionally expanded the calculation in the Mathcad package of numerical characteristics for the yaw values X (tractor swivel in the base line) and Y (steering wheel swivel in the neutral position), re-verification to the normal law of the sub-line.

With the additional diagrams of the distribution, the forms of fallows were added for the selection of the appropriate transformation of the data. On the basis of these transformations, the possibility of “linearizing” the discrete values of the changes appeared. For calculation and induce the spectral characteristics of the letters of used, the algorithm of the direct Fast Reworking Fur'e.



Was guidance algorithm for spreading the tension spectrum, which was brought to the offensive: calculation of the autocorrelation function, progeny and smoothing of the function (with the method of changing the infusion of vibrating vibes), the spreading of Fur'e - transformation.

When prompting the spectral characteristics of the analysis of the numerical series, the smoothing procedure was carried out sequentially for three and five points.

Key words: steering wheel steering, good quality, gear ratio of the steering mechanism, wheel base, resilience, work quality.