

*studies were based on an analysis of the interaction of working bodies of means of technological materials using methods of theoretical mechanics and continuum mechanics, integral and differential calculations, mathematical modeling. Experimental studies conducted in laboratory and production environments and provide for planning multifactor experiments. Theoretical calculations and experimental data analysis was conducted using the application software. Results. Considered traffic volume element feed materials in pellet screw channel scan feed. A condition for adjustment screws channels to common forms idealized model screw channel rectangular shape. The influence of structurally-granulator operational parameters and physical and mechanical properties of the feed materials on the basic parameters of its work. Conclusions. As a result of theoretical and experimental studies were scientific-technical design principles pellet feed screw screws, parameters which vary in their length. In general, the received expressions pressure in the feed screw presses, productivity, cost of power and torque to the drive screw granulator. Experimental studies have confirmed the adequacy expressions. Found optimal expression intensity changes of geometrical parameters of screw.*

**Keywords:** *pellet mill, performance, power consumption, optimization, forage mixture*

УДК 631.312.4.072.3

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ РУХУ ОРНОГО АГРЕГАТУ У ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ**

**О. Д. Кістечок, аспірант\***

**В. Т. Надикто, доктор технічних наук, член-кореспондент НААН  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
e-mail: imesh@zp.ukrtel.net**

**Анотація.** Викладено результати аналізу стійкості руху орного агрегату у горизонтальній площині за умови використання фронтального плуга, навішеного на трактор серії ХТЗ-160. Для оцінювання траєкторних показників його руху вказаний енергетичний засіб був обладнаний датчиками повороту керованих коліс і гіропівкомпасом.

Дослідженнями встановлено, що орний МТА за схемою «2+4» (тобто 2 корпуси плуга спереду і 4 – ззаду) має задовільні

\*Науковий керівник – доктор технічних наук В. Т. Надикто

© О. Д. Кістечок, В. Т. Надикто, 2016

*траєкторні показники. Основний спектр дисперсій коливань траєкторії борозни, величина якої складає  $69,16 \text{ см}^2$ , зосереджений в діапазоні частот  $0 \dots 0,50 \text{ м}^{-1}$ . За швидкості руху агрегату  $2 \text{ м/с}$  – це  $0 \dots 1,0 \text{ с}^{-1}$  або лише  $0 \dots 0,16 \text{ Гц}$ . Довжина кореляційного зв'язку коливань траєкторії борозни орного МТА становить при цьому не менше  $11 \text{ м}$ . Між вхідним впливом – кутом повороту керованих коліс трактора, і вихідним параметром – курсовим кутом енергетичного засобу існує позитивний кореляційний зв'язок. Максимальна значина нормованої взаємної кореляційної функції є досить високою і сягає позначки  $0,88$ . Запізнення реакції трактора на керуючих вплив (кут повороту його керованих коліс) не перевищує при цьому  $0,8 \text{ с}$ .*

**Ключові слова:** *оранка, фронтальний плуг, трактор, передній навісний механізм, заглиблення, стійкість руху*

**Постановка проблеми.** Не дивлячись на те, що трактор ХТЗ-160 під час роботи з плугами рухається колесами правого борту у борозні, питання стійкості орного МТА на основі цього енергетичного засобу є, певною мірою, актуальним [1–4].

**Аналіз останніх досліджень.** В першу чергу характер стійкості руху відбивається на траєкторії останньої борозни, яка використовується як напрямна для подальшого проходу орного агрегату. Чим кращими є її траєкторні показники, тим вищу стійкість руху у горизонтальній площині має орний агрегат і навпаки.

**Мета досліджень.** Метою є виклад результатів оцінювання траєкторних показників орного агрегату за схемою «2+4» у складі орно-просапного трактора серії ХТЗ-160, задньонавісного чотирикорпусного плуга ПЛН-4-35 та фронтального навісного двокорпусного орного знаряддя під умовною маркою ПЛН-2-35.

**Результати досліджень.** У польових умовах під час роботи даного орного агрегату з допомогою аналогово-цифрового перетворювача на ЕОМ реєстрували: кут повороту керованих коліс енергетичного засобу ( $\alpha$ ), його курсовий кут ( $\varphi$ ) і швидкість руху орного МТА.

Колівання траєкторії борозни у горизонтальній площині вимірювали за загальновідомою методикою [1].

Для реєстрування кута  $\alpha$  використовували реохорд СП-3А, який закріплювали на шворні правого керованого колеса ХТЗ-160. Курсовий кут реєстрували з допомогою гіропівкомпасу ГПК-52, а швидкість руху орного агрегату – з допомогою шляховимірювального колеса. Для реєстрованих параметрів розраховували наступні статистичні характеристики: середню значину, дисперсію, нормовані кореляційну функцію та спектральну щільності, взаємну кореляційну функцію.

Дослідженнями встановлено, що орний МТА за схемою «2+4» має задовільні траєкторні показники. Підставою для такого висновку є характер коливання траєкторії борозни, прокладеної цим машинно-тракторним агрегатом. Реально вони є досить низькочастотними (рис. 1). Основний спектр дисперсій, величина якої складає  $69,16 \text{ см}^2$ , зосереджений в діапазоні частот  $0 \dots 0,50 \text{ м}^{-1}$ . За швидкості руху агрегату  $2 \text{ м/с}$  – це  $0 \dots 1,0 \text{ с}^{-1}$  або лише  $0 \dots 0,16 \text{ Гц}$ . Довжина кореляційного зв'язку коливань траєкторії борозни орного МТА становить при цьому не менше  $11 \text{ м}$ .

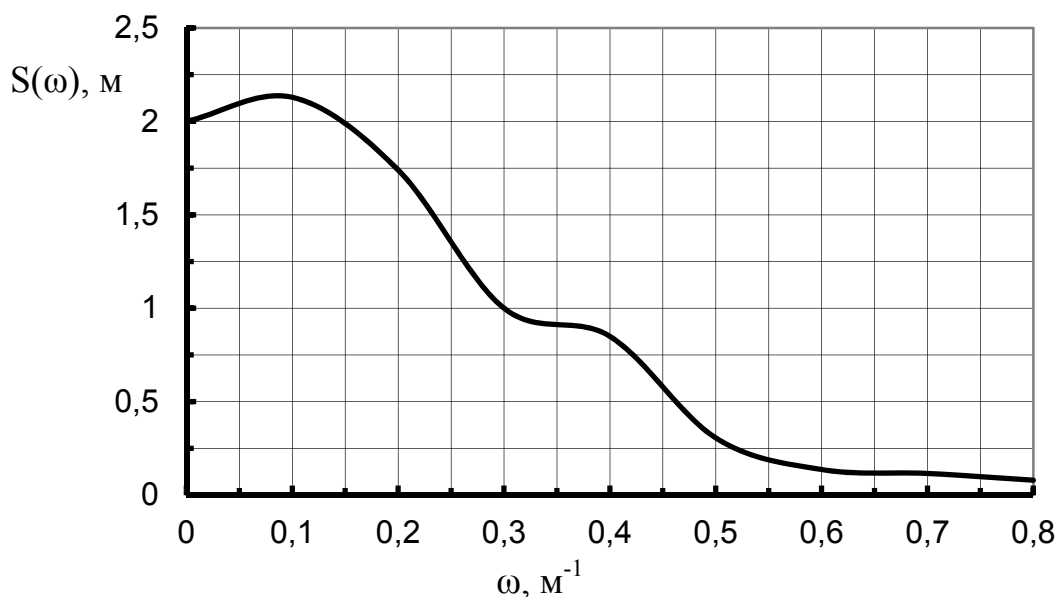


Рис. 1. Нормована спектральна щільність коливань траєкторії борозни, прокладеної агрегатом за схемою «push-pull» («2+4»).

Такий результат є задовільним, оскільки частота зрізу спектральної щільності коливань траєкторії борозни ( $\omega = 0,50 \text{ м}^{-1}$ ) лише вдвічі більша за ту частоту, яка репрезентує прийнятну непрямолінійність просапних культур [5].

Так як трактор ХТЗ-160 з агрегованими плугами рухається рушіями правого борту в борозні, то статистичні характеристики кута повороту його керованих коліс (параметр  $\alpha$ ) не мають суттєвих відмінностей від аналогічних характеристик, які репрезентують коливання траєкторії борозни.

Інша справа стосовно курсового кута трактора (параметр  $\varphi$ ). За рахунок наявності кутів уводу шин коліс енергетичного засобу енергія (тобто дисперсія) і внутрішня структура коливань його курсового кута дещо інші. У числовому вираженні дисперсія коливань параметра  $\varphi$  становила  $2,96 \text{ град.}^2$ , а параметра  $\alpha$  –  $2,10 \text{ град.}^2$ . При діленні більшої дисперсії на меншу отримуємо дійсну значину F-критерію Фішера:  $2,96/2,10 = 1,41$ .

До статистичного обробітку приймали по 250 ординат параметрів  $\alpha$  і  $\varphi$ . Для таких масивів вихідних даних таблична значина F-критерію Фішера на статистичному рівні значущості 0,05 дорівнює 1,39 [6]. Оскільки дійсна значина F-критерію Фішера (1,41) більша за табличну (1,39), то нуль-гіпотеза про рівність оцінюваних дисперсій не відхиляється. З ймовірністю 95% можна стверджувати, що дисперсія коливань курсового кута трактора не випадково більша за аналогічний показник для кута повороту його керованих коліс.

Можливо із-за цього спектр коливань параметра  $\varphi$  у порівнянні з кутом  $\alpha$  ширший. Так, якщо частота зрізу для спектральної щільності коливань кута повороту керованих коліс трактора становить  $0,3 \text{ с}^{-1}$ , то для курсового кута вона дорівнює приблизно  $0,42 \text{ с}^{-1}$  (рис. 2).

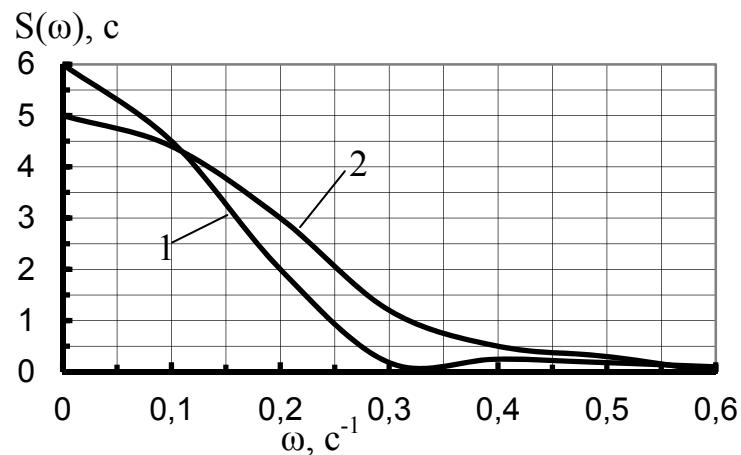


Рис. 2. Нормовані спектральні щільності коливань кута повороту керованих коліс трактора ХТЗ-160 (1) та його курсового кута (2).

Не дивлячись на різницю в характері коливань параметрів  $\alpha$  і  $\varphi$ , між ними існує тісний кореляційний зв'язок. Однозначно репрезентує його нормована взаємна кореляційна функція. Аналіз її протікання показує (рис. 3), що між вхідним впливом — кутом повороту керованих коліс трактора, і вихідним параметром — курсовим кутом енергетичного засобу існує позитивний кореляційний зв'язок. Максимальна значина нормованої взаємної кореляційної функції є досить високою і сягає позначки 0,88. Зміщення максимальної значини взаємної кореляційної функції вправо вказує на те, що курсовий кут трактора є функцією повороту його керованих коліс, а не навпаки. Якби вказаний максимум знаходився в другому квадранті, то величину  $\alpha$  слід було б розглядати як реакцію механізатора-водія на таке збурення, як небажаний поворот корпусу енергетичного засобу в ту чи іншу сторону.

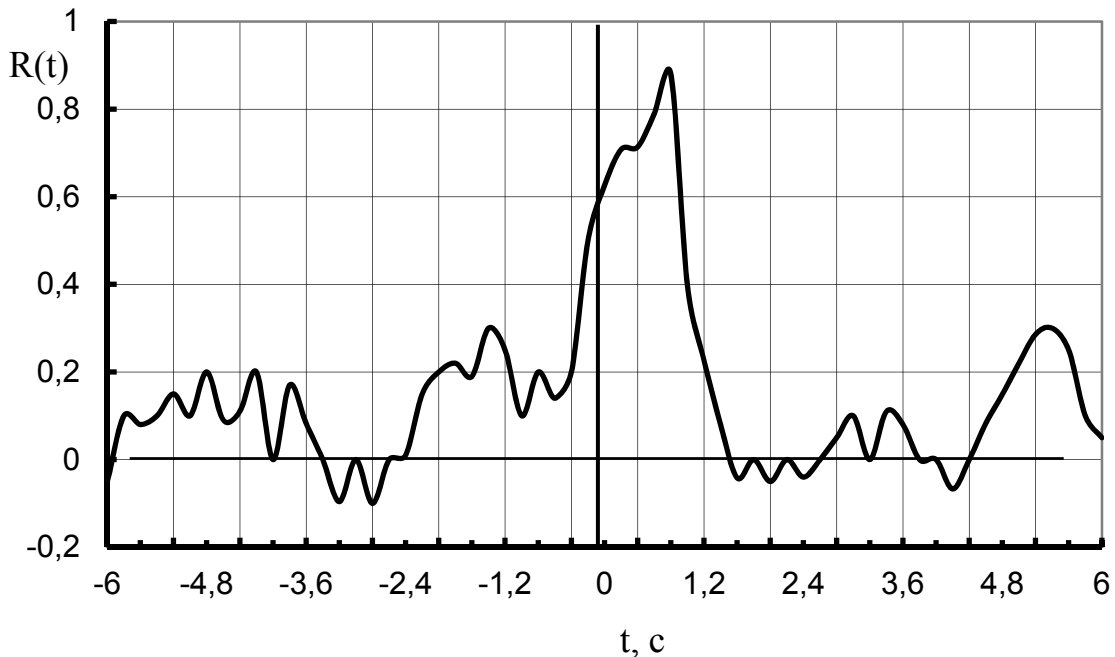


Рис. 3. Взаємна кореляційна функція коливань курсового кута трактора ХТЗ-160 по куту повороту його керованих коліс.

Зсув максимальної значини взаємної кореляційної функції вправо від вертикальної осі на 0,8 с вказує, що саме на такий час відбувається запізнення зміни курсового кута трактора на керуючий вплив – кут повороту його керованих коліс.

Слід підкреслити, що закордонні варіанти орного МТА за схемою «push-pull» передбачають рух опорного колеса фронтального знаряддя у борозні. Цим самим начебто забезпечується задовільна керованість і стійкість руху такого агрегату. У запропонованому нами варіанті орного машинно-тракторного агрегату опорне колесо фронтального плуга переміщається поза борозною. На полі воно рухається по необробленій його частині. А виходячи з аналізу вище приведеної взаємної кореляційної функції, можна сказати, що до погіршення керованості руху дослідного МТА таке рішення не призводить.

### Висновки

1. Основний спектр дисперсій коливань борозни після проходження нового орного МТА зосереджений в досить вузькому діапазоні частот  $0 \dots 0,50 \text{ м}^{-1}$ . За швидкості руху агрегату  $2 \text{ м/с}$  – це  $0 \dots 1,0 \text{ с}^{-1}$  або лише  $0 \dots 0,16 \text{ Гц}$ . Довжина кореляційного зв'язку коливань траєкторії борозни орного МТА становить при цьому не менше 11 м. Такий результат є задовільним, оскільки частота зрізу спектральної щільності коливань траєкторії борозни ( $\omega = 0,50 \text{ м}^{-1}$ ) лише вдвічі більша за ту частоту, яка репрезентує прийнятну непрямолінійність просапних культур.

2. Задовільна стійкість руху досліджуваного орного агрегату обумовлена високим позитивним кореляційним зв'язком між вхідним впливом – кутом повороту керованих коліс трактора, і вихідним параметром – курсовим кутом енергетичного засобу.

### Список літератури

1. *Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві : навч. посібник / В. Т. Надикто, М. Л. Крижачківський, В. М. Кюрчев, С. Л. Абдула.* – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок «ММД», 2005. – 337 с.
2. *Булгаков В. М. Агрегування плугів / В. М. Булгаков, В. І. Кравчук, В. Т. Надикто.* – К.: Аграрна наука. – 2008. – 152 с.
3. *Кюрчев В. М. Орний агрегат на основі трактора серії ХТЗ-160 / В. М. Кюрчев В.М., В. Т. Надикто // Техніка і технології АПК.* – 2010. – № 4. – С. 5–7.
4. *Касымов А. Ш. Установившееся прямолинейное движение пахотного агрегата с задней и передней навеской / А. Ш. Касымов, В. В. Золотарев // Тракторы и сельскохозяйственные машины.* – 1988. – № 1. – С. 5–7.
5. *Надыкто В. Т. Частотно-дисперсионный показатель непрямолинейности рядков пропашных культур / В. Т. Надыкто, О. П. Назарова, Т. С. Чорная.* – Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2009. – №8. – С. 8–11.
6. *Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов.* – М.: Агропромиздпт, 1985. – 351 с.

### References

1. *Nadykto, V. T., Kryzhachkivs'kyu, M. L., Kyurchev, V. M. (2005). AbdulaNovi mobil'ni enerhetychni zasoby Ukrayiny. Teoretychni osnovy vykorystannya v zemlerobstvi [A new mobile means of energy of Ukraine. The theoretical framework use in agriculture]. navch. posibnyk. Melitopol': TOV «Vydavnychyu budynok «MMD», 337.*
2. *Bulhakov, V. M., Kravchuk, V. I., Nadykto, V. T. (2008). Ahrehatuvannya pluhiv [Aggregation of plows]. K.: Ahrarna nauka, 152.*
3. *Kyurchev, V. M., Nadykto, V. T. (2010). Ornyy ahrehat na osnovi traktora seriyi KhTZ-160 [Arable unit on the basis of a series tractor HTZ-160]. Equipment and technologies for agriculture, 4, 5–7.*
4. *Kasimov, A. Sh., Zolotarev, V. V. (1988). Ustanovyvsheesya pryamolyneynoe dvyzhenye pakhotnoho ahrehata s zadney y peredney naveskoy [Established rectilinear movement of the arable unit with rear and front hitch]. Tractors and agricultural machines, 1, 5–7.*
5. *Nadikto, V. T., Nazarova, O. P., Chornaya, T. S. (2009). Chastotno-dyspersyonniy pokazatel' nepryamolyneynosti ryadkov propashnikh kul'tur [Frequency-dispersion measure of misalignment of rows of row crops]. Tractors and agricultural machines, 8, 8–11.*
6. *Dospekhev, B. A. (1985). Metodyka polevoho opita (s osnovamy statystycheskoy obrabotky rezul'tatov yssledovanyy) [Methodology of field experiment (with bases of statistical processing of research results)]. M.: Ahropromyzdpt, 351.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПАХОТНОГО АГРЕГАТА В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

*А. Д. Кистечок, В. Т. Надикто*

**Аннотация.** *Изложены результаты анализа устойчивости движения пахотного агрегата в горизонтальной площади при*

использовании фронтального плуга, навешенного на трактор серии ХТЗ-160. Для оценивания траекторных показателей его движения данное энергетическое средство было оборудовано датчиками поворота управляемых колес и курсового угла. Исследованиями установлено, что пахотный агрегат по схеме «2+4» (т. е. 2 корпуса плуга спереди, а 4 – сзади) имеет удовлетворительные траекторные показатели. Основной спектр дисперсий колебаний борозды, величина которой равна  $69,16 \text{ см}^2$ , сосредоточен в диапазоне частот  $0...0,50 \text{ м}^{-1}$ . При скорости движения  $2 \text{ м/с}$  – это  $0...1,0 \text{ с}^{-1}$  или всего  $0...0,16 \text{ Гц}$ . Длина корреляционной связи колебаний траектории борозды пахотного агрегата составляет при этом не менее  $11 \text{ м}$ . Между входным воздействием – углом поворота управляемых колес трактора, и выходным параметром – курсовым углом энергетического средства существует положительная корреляционная связь. Максимальное значение нормированной взаимной корреляционной функции является достаточно высоким и достигает значения  $0,88$ . Запаздывание реакции трактора на управляющее воздействие (угол поворота его управляемых колес) не превышает при этом  $0,8 \text{ с}$ .

**Ключевые слова:** вспашка, фронтальный плуг, трактор, передний навесной механизм, углубление, устойчивость движения

## RESEARCH STABILITY MOTION OF PLOWING UNIT IN HORIZONTAL PLANE

**O. D. Kistechok, V. T. Nadykto**

**Abstract.** *The results of analysis of stability of motion of the arable unit in a horizontal area when using the front of the plow, hung on a series tractor KHTZ-160. For estimation of trajectory parameters of the movement of this energy facility was equipped with sensors of rotation of the driven wheels and the yaw rate. Research has shown that the arable unit according to the scheme "2 of 4" (ie 2 lengths of a plow in the front, 4 – rear) has a satisfactory trajectory performance. The main range of the dispersions of the fluctuations of the furrow, the value of which is  $69,16 \text{ cm}^2$ , focused in the frequency range  $0...0.50 \text{ m}^{-1}$ . At a speed of  $2 \text{ m/s}$  is  $0...1.0 \text{ s}^{-1}$ , or just  $0...0,16 \text{ Hz}$ . Length of correlation of the fluctuations of the trajectory of the furrow arable unit is at least  $11 \text{ m}$ . Between the input impact – angle of the steered wheels of the tractor, and output parameter – the angle of directional energy means there is a positive correlation. The maximum value of the normalized mutual correlation function is sufficiently high and reaches a value of  $0.88$ . The delay of response of the machine for control (the rotation angle of its steered wheels) does not exceed in this case  $0.8 \text{ sec}$ .*

**Keywords:** *plowing, front plow, tractor, front-mounted mechanism, deepening, stability of motion*