

5. Науково-технологічні основи очисного та сушильного зернового обладнання, що працює в стані псевдозрідження: [Монографія] / М.М. Петренко, В.М.Сало, Д.В. Богатирьов та ін.– Кіровоград: СДП ФО Лисенко В.Ф., 2013. – 212 с.
6. Розробка нової конструкції пневморешітної зерночисної машини. Том 1. Обґрунтування параметрів транспортера-сепаратора [Монографія] / В.М. Сало, С.М. Мороз, О.М. Васильковський та ін.– Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2014. – 108 с.
7. Патент на корисну модель №31115 Україна, МПК В07В 13/00. Решето / Шмат С.І., Лузан П.Г., Мачок Ю.В. та ін.; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т. – № 200713425; Заявл. 03.12.07; Опубл. 25.03.08. Бюл. №6. – 2 с
8. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики: Практ. пособие / П.М. Заика. – К.: Изд-во УСХА, 1992. – 512 с.
9. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко.- К.: Изд. УАСХН, 1960. – 283 с.
10. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины / М.Н. Летошнев. – М.-Л.: Госсельхозиздат, 1955. – 764 с.

**Petro Luzan, Assos. Prof., PhD tech. sci., Olena Luzan, PhD tech. sci., Dmitry Petrenko, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad, Ukraine*

#### **Substantiation of sieve parameters for grain separation**

The objective of this work is to develop a method for substantiation of parameters along with determination of conditions for passing grain particles through the sieve openings, diameter of which is increasing toward work material movement and made with set of rods.

It has been defined that the biggest impact on kinematic movement parameters has the starting speed of work material movement and the radius of a sieve and by changing this parameters the required effectiveness for this type of sieves can be achieved. The conditions of passing of work material particles through sieve openings without blocking the openings were defined.

The increase of kinematic movement parameters takes place with the increase of starting speed, while increase of a radius has an opposite impact. The usage of offered sieves increase separation effectiveness by 12-14% compared to regular sieves.

**separator, sieve, separation, Froude number, grain separation, sieve openings blocking, grain**

Одержано 12.01.16

**УДК 631.3 - 351**

**О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук, В.М. Каліч, проф., канд. техн. наук,  
С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: para5511@mail.ru*

## **Розрахунок надійності зернозбиральних комбайнів за критерієм оптимальності ходової системи**

В статті розглянуто процес роботи зернозбирального комбайна при виконанні технологічного процесу збирання при мінімальних втратах урожаю, Проведено аналіз використання імовірнісних критеріїв при розрахунку оптимальності коливальних параметрів мобільних сільськогосподарських машин. Встановлені закономірності імовірнісного критерію оптимізації ходової системи, спектри вертикальних коливань корпусу ходової системи комбайна і крутильних коливань приводу ходової системи. Проведено тензометрирування комбайна в польових умовах.

**коливання, цільова функція, квантіль, імовірність, комбайн, жатка, молотарка, колесо**

© О.Й. Мажейка, В.М. Каліч, С.І. Маркович, 2016

**А.И. Мажейка, проф., канд. техн. наук, В.М. Каліч, проф., канд. техн. наук, С.И. Маркович, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*

### **Расчет надежности зерноуборочных комбайнов по критерию оптимальности ходовой системы**

В статье рассмотрен процесс работы зерноуборочного комбайна при выполнении технологического процесса сбора при минимальных потерях урожая, проведен анализ использования вероятностных критериев при расчете оптимальности колебательных параметров мобильных сельскохозяйственных машин. Установлены закономерности вероятностного критерия оптимизации ходовой системы, спектры вертикальных колебаний корпуса ходовой системы комбайна и крутильных колебаний привода ходовой системы. Проведено тензометрирование комбайна в полевых условиях. **колебания, целевая функция, квантиль, вероятность, комбайн, жатка, молотилка, колесо**

**Постановка проблеми.** Створення конкурентної техніки агропромислового комплексу є актуальним завданням, рішення якого пов'язане з підвищенням технічного рівня машин. Тому дослідження, спрямовані на вдосконалення методу розрахунку і проектування ходових систем з урахуванням взаємного впливу коливальних процесів мобільних машин є актуальними.

В процесі роботи зернозбиральні комбайни повинні виконувати технологічний процес збирання при мінімальних втратах урожаю, забезпечувати плавність ходу машини для створення комфортних умов праці механізатора, при цьому витрати енергії на пересування машини повинні бути мінімальними.

**Аналіз останніх досліджень.** В зернозбиральному комбайні жатка з молотаркою з'єднана через похилу камеру. Пружини, встановлені на похилій камері врівноважують вагу жнивної частини і зусилля, що діють на копіювальні башмаки, зменшуються, що дозволяє полегшити копіювання рельєфу поля. Підйом жнивної частини в транспортне положення здійснюється до положення, коли жнивна частина являє одне ціле з молотаркою. На відміну від колісних сільськогосподарських тракторів, автомобілів та інших мобільних машин АПК, ходова система комбайна на робочих режимах повинна забезпечувати копіювання макро- і мікрорельєфу поверхні поля з метою уникнути втрати врожаю. Тому в ходовій системі комбайна практично заблоковані відповідні пружні елементи, які визначають плавність ходу машини. В зв'язку з цим в цій роботі поставлено завдання щодо вирішення проблеми оцінки надійності мобільних сільськогосподарських машин за критерієм оптимальності ходової системи зернозбирального комбайна.

**Постановка завдання.** Метою досліджень було підвищення працездатності ходової системи зернозбирального комбайна, яка складається з корпусу, ходових і керованих коліс, гідромеханічного приводу і дизельного двигуна. Предметом дослідження був розвиток досліджень взаємозв'язку ходової системи комбайна у вигляді сукупності агрегатів, які здійснюють пов'язані лінійні (корпус) і крутильні коливання.

**Методика досліджень.** В процесі досліджень проводилось уточнення динамічних моделей на основі диференціальних рівнянь Лагранжа та оцінка спроможності цих моделей. Було виконано спектральний аналіз динамічних процесів за результатами тензометрування. Проводились дослідження умов синхронізації коливань об'єктів, які можна описати диференціальними рівняннями з функціями зв'язку, а також застосовували імовірнісні методи при виборі коливальних параметрів.

При оптимізації коливальних параметрів мобільних сільськогосподарських машин (зернозбиральних, силосозбиральних комбайнів, тракторів) використовуються інтегральні критерії [1], критерії ефективності [2], а також імовірнісні критерії [3].

**Результати досліджень.** Розсіювання коливальних параметрів машин і умов експлуатації привело до необхідності розгляду критеріїв оптимальності ходової

системи комбайна в імовірнісному аспекті і представити критерій оптимальності у вигляді мінімумів для імовірностей:

$$\begin{aligned} P\{D_R > [D_R]\} &= \min; \\ P\{D_{\dot{z}} > [D_{\dot{z}}]\} &= \min; \\ P\{D_{\varphi} > [D_{\varphi}]\} &= \min. \end{aligned} \quad (1)$$

де  $D_R = \sum_{Ri}^r \sigma_{Ri}^2$  – цільова функція агротехніки або дисперсія навантажень на башмаках жнивarki;

$$D_{\dot{z}} = \sum_{\dot{z}i}^r \bar{z}_i^2 \quad \text{– цільова функція плавності ходу або дисперсія вертикальних}$$

прискорень корпусу комбайну;

$$D_{\varphi} = \sum_{\varphi i}^r c_{\varphi i}^2 \varepsilon_i^2 \quad \text{– цільова функція енергетики або дисперсія крутного моменту в}$$

приводі ходової системи;

$$[D_R], [D_{\dot{z}}], [D_{\varphi}] \quad \text{– допустимі значення цільових функцій.}$$

Завдання оптимізації в ймовірнісному аспекті було представлено у вигляді вибору коливальних параметрів корпусу ходової системи, при яких загальний критерій оптимізації цієї системи при прийнятих параметрах можна представити як:

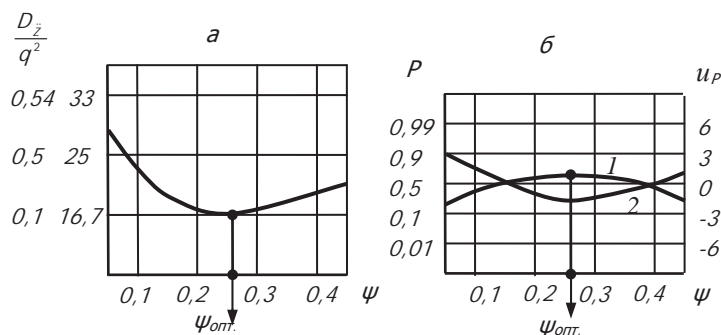
$$u_p = \frac{1}{V_R} \left\{ \frac{D_p}{\bar{D}_R} - 1 \right\} + \frac{1}{V_{\dot{z}}} \left\{ \frac{D_{\dot{z}}}{\bar{D}_{\dot{z}}} - 1 \right\} + \frac{1}{V_{\varphi}} \left\{ \frac{D_{\varphi}}{\bar{D}_{\varphi}} - 1 \right\} = \max, \quad (2)$$

де  $\bar{D}_R, \bar{D}_{\dot{z}}, \bar{D}_{\varphi}$  – математичні очікування,

$V_R, V_{\dot{z}}, V_{\varphi}$  – коефіцієнти варіації цільових функцій, в припущенні, що цільові функції незалежні.

За статистичними характеристиками розподілу цільової функції і її допустимого значення визначався квантиль нормального розподілу [4].

На рис. 1 представлений графік цільової функції для транспортного режиму комбайна. Параметр, що оптимізується – відносний коефіцієнт загасання вертикальних коливань корпусу  $\psi$ , обумовлений втратою енергії коливань в шинах ходових коліс комбайна.



1 - квантиль  $u_p$ ; 2 - вірогідність  $1 - P(u_p)$

Рисунок 1 – До визначення локального оптимуму  
Загальний критерій оптимальності має вигляд:

$$P\{D_R > [D_R]; D_{\ddot{z}} > [D_{\ddot{z}}], D_{\varphi} > [D_{\varphi}]\} = \min. \quad (3)$$

Для вирішення завдання локального оптимуму представимо цільову функцію плавності ходу, наприклад, у вигляді елементарної випадкової функції, що є добутком невідповідної функції  $\overline{D}_{\ddot{z}}$  на випадкову величину  $\varepsilon$ :

$$D_{\ddot{z}} = \overline{D}_{\ddot{z}} \cdot \varepsilon, \quad (4)$$

де  $\overline{D}_{\ddot{z}}$  – математичне очікування цільової функції;

$\varepsilon = 1 + u_p V_{\ddot{z}}$  – нормально розподілена випадкова величина, що має середнє значення, рівне одиниці, і коефіцієнт варіації, рівний  $V_{\ddot{z}}$  (вертикальних прискорень молотарки).

Параметри статистичних розподілів вертикальних прискорень зернозбиральних комбайнів і самохідних шасі приведені [3], по цих розподілах і значенні цільової функції, що допускається, які визначали квантілі нормального розподілу

$$u_p = \frac{1}{V_{\ddot{z}}} \left\{ \frac{[D_{\ddot{z}}]}{\overline{D}_{\ddot{z}}} - 1 \right\}, \quad (5)$$

і завдання оптимізації було представлено у вигляді вибору коливальних параметрів молотарки, при яких  $u_p = \max$ .

По відомих таблицях [4] знаходили вірогідність  $P(u_p = \max)$ , що відповідає виконанню умови

$$P\{D_{\ddot{z}} > [D_{\ddot{z}}]\} = \min. \quad (6)$$

Наведено приклади використання імовірнісних критеріїв при розрахунках оптимальності коливальних параметрів ходових систем комбайнів українського виробництва «СКИФ».

На рис.1а представлений графік цільової функції  $D_{\ddot{z}}$  для молотарки комбайна при роботі машини в транспортному режимі. Параметром, що оптимізується, тут є відносний коефіцієнт загасання вертикальних коливань молотарки  $\psi$ , обумовлених втратою енергії коливань в шинах ходових коліс. На графіку відмічено значення  $\psi_{opt}$ . Задаємося тепер  $[D_{\ddot{z}}] = 4 \frac{M^2}{cm^4}$  з умови  $\ddot{z}_{max} \leq 0,2q$  згідно санітарних норм для операторів на обмеження вібрацій на робочому місці механізатора, тому перейдемо до імовірнісного критерію (5). З графіка (рис.1,б) крім значень  $\psi_{opt}$  було встановлено, що є вірогідністю перевищення заданого рівня вібрації. Тому оптимізація тільки по  $\psi_{opt}$  є неефективною, оскільки в даному випадку при  $1 - (u_p = \max) = 0,38$ . Тому оптимізація тільки по  $\psi_{opt}$  є не ефективною, тому що при  $\psi = \psi_{opt}$  у 38% зі всього парку машин  $D_{\ddot{z}} > [D_{\ddot{z}}]$ , що по умові дорівнює  $\ddot{z}_{max} > q$  і не відповідає умові на обмеження вібрацій робочого місця машини.

На рис.1б представлені результати розрахунків, пов'язані з оптимізацією жорсткості шин ходових коліс комбайна. В цьому випадку має місце завдання знаходження локального оптимуму з обмеженнями.

В процесі експерименту варіювалися: швидкість руху комбайна, ґрунтові фони, ступінь завантаження бункера (рис.2). За показниками тензодатчиків отримували інформацію про крутні моменти на основних валах приводу і на півосях ходового колеса. Для вимірювання вертикальних прискорень корпусу моста ходових коліс використовувався тензOMETричний акселерометр АТ-2. В якості підсилювальних і реєструючих пристроїв використовувалися тензOMETричні підсилювачі 8АНЧ - 7М і

магнітографи фірми TESLA. У результаті проведення випробувань були отримані осцилограми вихідних характеристик та напружень. Приклад отриманих осцилограм представлений на рис. 3



а – комбайн «СКИФ-290»; б-ведучі мости комбайна «СКИФ»

Рисунок 2 – Фото комбайна українського виробництва «Скіф»

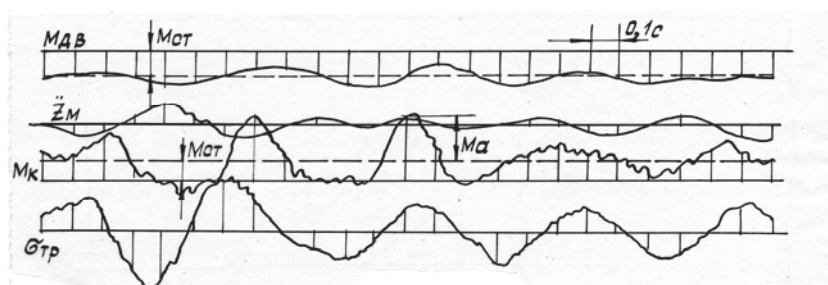


Рисунок 3 – Осцилограми отриманих вихідних характеристик ( $M_0$ ,  $M_k$ ,  $\ddot{z}_M$ ) при русі комбайна по ґрунтовій дорозі зі швидкістю 5,06 м / с (ІІІ передача), а також нормальні напруження в корпусі бортового редуктора ( $\sigma_{тр}$ ).

**Висновки.** Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали, що спектри вертикальних коливань корпусу ходової системи комбайна і крутильних коливань приводу ходової системи знаходяться в одному частотному діапазоні ( $\omega = 6 \div 15 \text{с}^{-1}$ ). Це призводить до виникнення синхронізації коливань приводу ходової системи і корпусу на транспортних режимах роботи машини. При наявності навіть слабких взаємодій починаються коливання з однаковими частотами за певних фазових співвідношень між ними.

Використання імовірнісного критерію оптимізації для такого завдання дозволило встановити, що при зниженні жорсткості шин ходових коліс на  $5 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$  вірогідність перевищення  $D_{\ddot{z}}$  знижується від  $1 - P(u_p) = 0,0338$  до  $1 - P(u_p) = 0,1$ . Т.

Визначено ступінь ідентичності прийнятих моделей і реальних об'єктів. Дисперсна міра ідентичності отримана і задовольняє відомим обмеженням на адекватність опису.

## Список літератури

1. Смирнов Н.В. Курс теории вероятности и математической статистики / Н.В.Смирнов, И.В.Думин-Барковский. – М.: Наука, 1965. – 341 с.
2. Анилович В.Я. Статичная теория поддресоривания машино-тракторных агрегатов: автореф. дис. д-ра наук. – М., 1967. – 232 с.
3. Гриньков Ю.В. Основные принципы инженерного расчета упругих колебаний конструкций зерноуборочных комбайнов: дис. д-ра наук. – Волгоград, 1971.

4. Павленко І.І. Оптимальність параметрів ходових систем сільськогосподарських машин / І.І. Павленко, М.В. Сторожук, О.Б. Чайковський // Зб.наук.праць КНТУ. Техніка у сільському виробництві, галузеве машинобудування, автоматика. – 2008. – Вип. 21. – С.244-246.

**Oleksandr Mazheyka, Prof., PhD tech. sci., Sergiy Markovich, Assos. Prof., PhD tech. sci., Viktor Kalich, Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

#### **Calculation of reliability of combine harvesters for optimality criterion running system**

This article describes how the work of a combine harvester when the collection process with minimum loss of crop, use of probabilistic analysis criteria for calculating the optimum vibration parameters of mobile agricultural machinery. The laws of probability criterion optimizing suspension systems, spectra of the vertical oscillations of the body, and suspension systems combine torsional vibrations about the running system. Locations tenzometriruvannya harvester on field trials

The article gives the analysis of possible criteria of application when accounting vibratory parameters mobile agricultural machines optimization.

**fluctuations, the objective function, quantile, probability, harvester, reaper, thresher, truck**

Одержано 07.11.15

**УДК 631.331**

**С.А. Мартиненко, доц., канд. техн. наук, Т.М. Ауліна, доц., канд. техн. наук, Д.Ю. Артеменко, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: adu2006@inbox.ru*

## **Теоретичне обґрунтування параметрів вібраційного висіву**

В статті розглянуто типи висівних апаратів зернових сівалок. Проаналізовано їх переваги та вади. Запропоновано конструкцію вібраційного висівного апарату та методику первинних розрахунків його основних параметрів – частоти та напрямку коливань. Побудовано графік визначення режиму роботи апарату в залежності від цих параметрів.

**висівний апарат, вібрація, параметри вібрації, вібраційний висів**

**С.А. Мартиненко, доц., канд. техн. наук, Т.М. Ауліна, доц., канд. техн. наук, Д.Ю. Артеменко, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградский национальный технический университет, г. Кіровоград, Украина*

#### **Теоретическое обоснование параметров вибрационного высева**

В статье рассмотрены типы высевающих аппаратов зерновых сеялок. Проанализированы их преимущества и изъяны. Предложена конструкция вибрационного высевающего аппарата и методика предварительных расчетов его основных параметров - частоты и направления колебаний. Построен график определения режима работы аппарата в зависимости от этих параметров.

**высевающий аппарат, вибрация, параметры вибрации, вибрационный высев**

**Постановка проблеми.** Розпушування та транспортування сипких продуктів за допомогою коливань відомо дуже давно. Простота конструкції та ефективність при використанні поширило цю технологію в багатьох галузях техніки. Але, в основному, коливання застосовують для транспортування продуктів та виробів [1, 2]. Використання вібрацій при рядовому висіві насіння до цього часу на практиці не використовувалось, хоча простота конструкції в порівнянні з пневматичним висівом очевидна.

© С.А. Мартиненко, Т.М. Ауліна, Д.Ю. Артеменко, 2016