

DOI: 10.31319/2519-8106.1(48)2023.280239
UDC 631.33

Tishchenko Sergiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Environmental Mathematics Department,
Тищенко С.С., доктор технічних наук, професор кафедри вищої математики
ORCID: 0000-0003-4860-4818
e-mail: voloskrs@i.ua

Dnipro Higher vocational school No. 17, Dnipro
Дніпровське вище професійне училище № 17, м. Дніпро

MATHEMATICAL MODEL OF THE INTERACTION OF THE PARALLELOGRAMIC MECHANISM OF A GROUND-SHAPED PUNCH WITH THE FIELD RELIEF

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ПАРАЛЕЛОГРАМНОГО МЕХАНІЗМУ ҐРУНТООБРОБНОГО ЗНАРЯДДЯ З РЕЛЬЄФОМ ПОЛЯ

The mathematical model of dynamic interaction of the parallelogram mechanism of the tillage tool with the relief of the field is presented. It is assumed that the obstacle on which the support wheel of the mechanism falls, has a sinusoidal profile. The solution of kinematic levels of equations allows to determine at any time the velocity and acceleration of individual elements of the mechanism depending on the shape of the field profile and the relative velocity of the mechanism.

Keywords: tillage equipment, kinematic equations, parallelogram mechanism, dynamic interaction.

При вирощуванні сільськогосподарських культур в наш час застосовується мінімальна технологія вирощування. Вказана технологія має, як свої переваги, так і недоліки. Однак вона передбачає виконання технологічної операцій підготовки ґрунту та сівби. Інші технології виробництва зерна різняться лише операціями щодо основного та передпосівного обробітку ґрунту та сівби.

Одним із основних завдань сівби є створення оптимальних умов для розвитку сільськогосподарських культур. До таких умов можна віднести рівномірність розподілу насіння за глибиною сівби. Сучасні посівні машини та комплекси, що використовуються в умовах України мають продуктивність до 12 га/год. Такі показники забезпечуються досить складною конструкцією посівних секцій, що складається з системи паралелограмів, та інших механізмів.

Для забезпечення копіювання поверхні поля сучасні ґрунтообробні та посівні агрегати оснащуються, паралелограмними копіювальними механізмами. Копіювання поверхні поля паралелограмним механізмом можна визначати різними методиками з врахуванням всіх факторів, однак в польових умовах за допомогою спеціального обладнання. Сучасні посівні машини та комплекси, що використовуються в умовах України мають продуктивність до 12 га/год. Однією з актуальних задач сьогодення є моделювання режимів роботи окремих елементів механізмів копіювання, що сприяє оптимізації їх параметрів. Основним джерелом коливань паралелограмного механізму сівалки або культиватора є нерівності опорної поверхні — сільськогосподарського фону, що мають випадковий характер, та описується законом нормального розподілу. Мікропрофіль вважається стаціонарним випадковим процесом та основними його характеристиками є: кореляційна функція, спектральна щільність та максимальна висота нерівностей. Кореляційна функція характеризує структуру випадкової функції нерівності і для неї найчастіше вибирається апроксимуючий вираз відомого виду. Числові значення моделювання залежать від типу поля та швидкості руху агрегату, тому для довільної швидкості визначаються за їх значеннями, отриманими для швидкості 1 м/с, використовуючи наступні співвідношення.

Розподіл ординат мікропрофілю поля відповідно до нормального закону підпорядковується виразу $q_{\max} \approx 3\sigma$. Моделювання показує, що з ростом часу моделювання зв'язок різко падає. За результатами моделювання, час кореляції змінюється від 0,5 до 1,24, що свідчить про невеликий кореляційний зв'язок профілю. Коливання ординат у профілях поля відсутні. Згідно з експериментальними даними, значення для профілю поля знаходяться в межах 0,026...0,12 м.

Отримані результати можуть бути використаними на етапі проектування або моделювання механізмів копіювання посівних та ґрунтообробних машин.

Ключові слова: ґрунтообробна техніка, кінематичні рівняння, паралелограмний механізм, динамічна взаємодія.

Problem's Formulation

Agricultural machinery, especially tillage and sowing, is becoming increasingly complex. This is due to the advent of modern technologies for tillage and sowing. In this plan, the operations of preparing the soil for sowing and sowing crops are combined. Such technologies include minimum and zero (No-till) tillage. These technologies have both advantages and disadvantages, while the first involves the formation of a seed bed and then sowing, and the second only sowing into uncultivated soil.

The main task for sowing is to create optimal conditions for the development of cultivated plants. These requirements include the uniform distribution of seeds over the depth of placement, which is created by the formation of the seed bed. Modern sowing complexes, which are used on the territory of Ukraine, have a capacity of 12 hectares hour. Such indicators are provided by a complex design of both tillage working bodies and sowing. However, regardless of the design, in soil-cultivating and sowing complexes, parallelogram mechanisms are used to copy the field profile.

Analysis of recent research and publications

The main trends in the development of designs of agricultural machines, in particular tillage and sowing, are the creation of combined machines. The creation of combined machines makes it possible to combine the technologies of tillage and sowing [1, 3, 5].

To ensure copying of the field surface, modern tillage and sowing units are equipped with parallelogram copying mechanisms [4]. The loads that occur in the movable joints of the parallelogram mechanism of copying the soil surface can be determined by various methods [5]. With high accuracy, taking into account all factors, it is possible to perform only in the field with the help of special equipment, which is quite cumbersome. For initial calculations enough to determine the required values theoretically and only then perform clarifications. Known works are related to the substantiation of the composition and parameters of combined tillage implements and sowing machines. One of the urgent tasks of today is to determine the modes of operation of individual elements of copying mechanisms, which helps to optimize their parameters [5].

The elements of the seed drill opener (Fig. 1) in the case of movement on a flat soil surface make translational movement, except for the disk and wheel. Given the above, the load in the moving joints can be determined based on the equations of statics. There are studies [5], which analyzed the operation of the parallelogram mechanism under conditions that the field surface is close to a sinusoid. The wavelength and its amplitude are $l = 0,2$ m and $\Delta = 0,049$ m, respectively. At the same time, there are obstacles to determining the forces acting on the parallelogram mechanism associated with the analytical determination of the forces of inertia.

Formulation of the study purpose

The aim of the work is to create a mathematical model of the load of the elements of the parallelogram mechanism based on the analysis of the kinematics of the interaction of the support roller with the soil profile.

Presenting main material

A simplified diagram of the section of the parallelogram mechanism of the tillage working body, which is part of the combined unit is shown in Fig. 1.

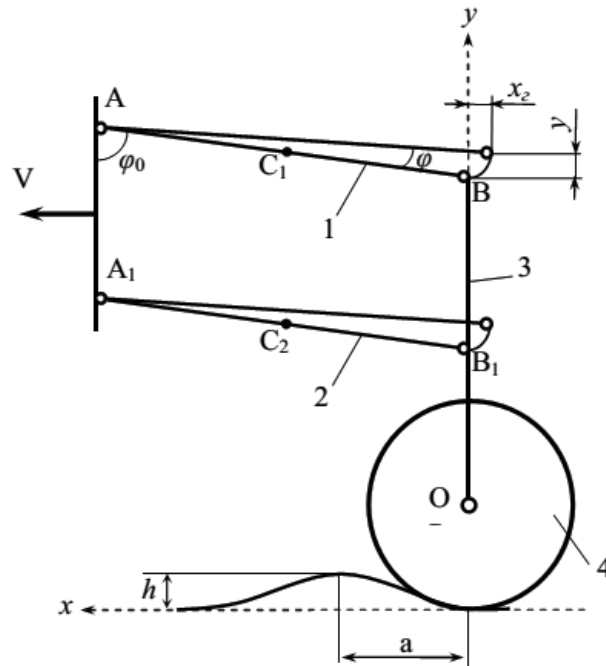


Fig. 1. Scheme for determining the kinematic characteristics of the parallelogram mechanism: 1 — top link; 2 — lower link; 3 — rack; 4 — ice rink

The upper rod 1 and the lower 2 of the parallelogram mechanism (Fig. 1) when the support wheel hits the obstacle make a plane-parallel movement. Therefore, for them it is possible to make on three differential equations.

Differential equations for upper thrust

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= \sum F_{kx}^1; \\ m_1 \ddot{y}_1 &= \sum_{k=1}^n F_{ky}^1; \\ m_1 \ddot{\varphi}_1 &= \sum_{k=1}^n M_c(F_{kx}^1), \end{aligned}$$

where m_1 — is the thrust mass AB ; I_1 is its axial moment of inertia about the centre of mass; \ddot{x}_1 — projection of acceleration of the centre of mass of thrust AB on the x -axis; \ddot{y}_1 — projection of acceleration of the centre of mass on the vertical axis; F_{kx}^1 — projection of one of the forces (F_{kx}^1) applied to the upper thrust; φ_0 — is the angle that determines the initial position of the center of gravity of the upper lever; φ — is the current value of its angle of rotation when overcoming an obstacle.

It is obvious that in the differential equations for the lower link of the parallelogram mechanism the dynamic characteristics will not change:

$$\begin{aligned} m_2 \ddot{x}_1 &= \sum F_{kx}^2; \\ m_2 \ddot{y}_1 &= \sum_{k=1}^n F_{ky}^2; \\ I_2 \ddot{\varphi}_1 &= \sum_{k=1}^n M_c(F_k^2). \end{aligned}$$

Differential equalizations that describe forward motion of bar (3) look like:

$$m_3 \ddot{x}_3 = \sum_{k=1}^m F_{kx} ; \quad (1)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 = \sum_{k=1}^m F_{ky} ; \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^j M_B (F_k) = 0 . \quad (3)$$

In the brought equalizations (1—3) over the entered denotations: m_3 — is mass of bar; \ddot{x}_3 , \ddot{y}_3 — it is an acceleration of centre of supporting roller.

Differential equations describing the motion of the support roller are based on the assumption that the vertical profile of the field surface can be described by a harmonic function with the following initial data: wavelength $l = 2a$, amplitude $\Delta = h / 2$ (Fig. 2).

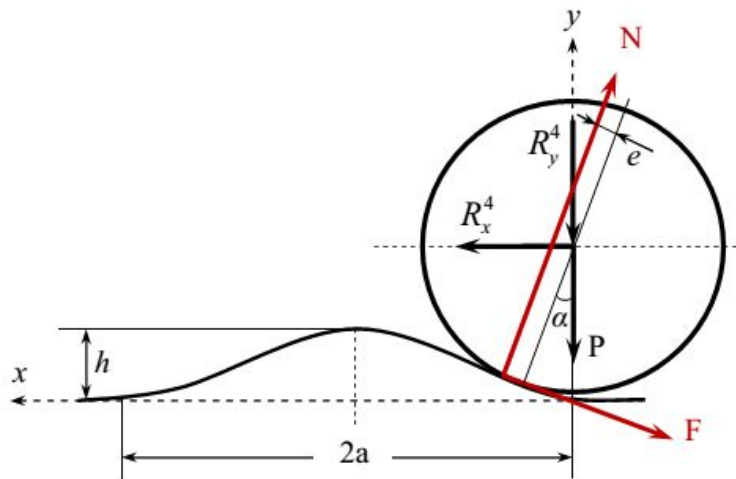


Fig. 2. Chart of forces that operate on supporting rink at co-operating with the profile of the field

Differential equalizations of motion of supporting wheel, in accordance with the brought chart over of forces on fig. 2, that operate on a supporting wheel (4) have such kind:

$$m_4 \ddot{x}_4 = R_x^4 - F \cos \alpha - N \sin \alpha ; \quad (4)$$

$$m_4 \ddot{y}_4 = N \cos \alpha - R_y^4 - F \sin \alpha - P ; \quad (5)$$

$$I_4 \varphi_4 = F r_4 - N e , \quad (6)$$

where m_4 — is the mass of the support wheel; I_4 — axial moment of inertia of the wheel; \ddot{x}_4 , \ddot{y}_4 — projections of the acceleration of the centre of the wheel on the x and y axes, respectively; $\ddot{\varphi}_4$ — angular acceleration of the wheel; F , N — components of soil reactions; r_4 — radius of the support wheel; e — coefficient of crushing of the soil under the weight of the roller.

When compiling equations (1—6), it was taken into account that when the roller interacts with the soil, not only friction is observed, but also crushing of the soil under the weight of the roller and the parallelogram mechanism.

The profile of the field is determined by the micro profile of the surface. Thus, the main source of oscillations of the considered mechanism is the unevenness of the supporting surface — the agricultural background, which has a random character and is described by the law of normal distribution

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2},$$

where μ — the average value of the irregularities of the field profile; σ — mean square deviation; σ^2 — dispersion.

The microprofile is considered a stationary random process, and its main characteristics are: correlation function, spectral density, and the maximum height of irregularities [2]. The correlation function $R_q(\tau)$ characterizes the structure of the random function of the inequality, and an approximating expression of the form is most often chosen for it

$$R_q(\tau) = e^{-\alpha(\tau)} \cos \beta\tau,$$

where α and β — coefficients characterizing the damping and periodicity of the function.

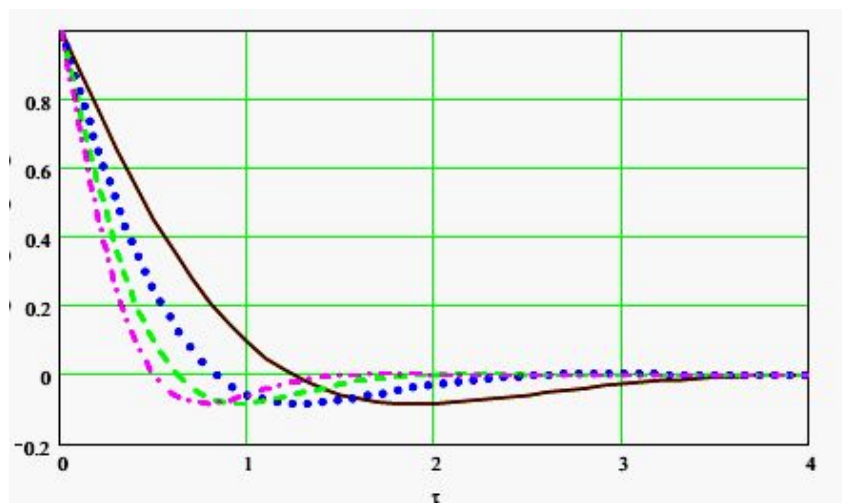


Fig. 3. Correlation functions of irregularities of the average statistical background of the field profile

Numerical values α and β depend on the type of field and the speed of movement of the unit, therefore, for an arbitrary speed $v = 1$ m/s, they are determined by their values obtained for the speed m/s, using the following relations $\alpha_{vi} = \alpha_{v=1} v_i$; $\beta_{vi} = \beta_{v=1} v_i$.

The distribution of the ordinates of the micro profile of the field in accordance with the normal law obeys the expression $q_{\max} \approx 3\sigma$.

Graphs of the correlation functions of the unevenness of the agricultural background are presented in Figure 3. The graphs drop sharply. As can be seen from the graphs, the correlation time changes from from 0.5τ to 1.24τ , which indicates a small correlation of the profile. Oscillations of the ordinate in the field profiles are absent. According to experimental data, the values for the field profile are within 0.026...0.12 m.

Conclusions

The obtained formulas for determining the kinematic characteristics of the parallelogram mechanism under the conditions of its operation in the field of normal distribution law.

The differential equation of motion of individual elements of the mechanism for copying the surface of the field profile by the parallelogram mechanism is derived

The obtained results can be used at the stage of designing or modeling the mechanisms of copying sowing and tillage machines.

References

- [1] Barsky I. B., Anilovich V. Ya, Kutkov (1973) *Dinamika traktora [Tractor dynamics]* Moscow: Mashinostroyeniye [in Russia].
- [2] Geruk S.M., Petrichenko Є.A. (2014) Tendentsii rozvitku konstruktsiy posivnikh agregativ [Trends in the development of the design of seed units] *Tekhnichniy servis agropromislovogo. lisovogo ta transportnogo kompleksiv - Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes*, 1, 31–45 [in Ukraine].
- [3] Pogoiily V. (2014) Testuvannya zernovikh sivalok: adaptovanist do sistem obrobтку rruntu. [Testing of grain rolls: adaptation to soil treatment systems] *Tekhnika i tekhnologii APK - Tekhnika i tekhnologii APK*, 4, 25–30.
- [4] Sisolin P.V. (2009) Konstruktorski rozrobki novikh vitchiznyanikh. universalnikh mashin dlya zvi chaynoi. sternovoi. mulcho-sternovoi. ekologichno bezpechnoi. energozberigayuchoi tekhnologii viroshchuvannya silskogospodarskikh kultur v Ukraïni: [naukove vidannya] *[Konstruktorski rozrobki novikh vitchiznyanikh. universalnikh mashin dlya zvi chaynoi. sternovoi. mulcho-sternovoi. ekologichno bezpechnoi. energozberigayuchoi tekhnologii viroshchuvannya silskogospodarskikh kultur v Ukraïni: [naukove vidannya]* Kirovograd: KOD [in Ukraine].
- [5] Yasenetskiy V., Shustik L., Marinin S., Panayotova O. (2011) Tendentsii rozvitku konstruktsiy sivalok [Trends in the development of seed roll designs] *Propozitsiya – Proposition*, 1, 18-27 [in Ukraine].

Надійшла до редколегії 13.01.2023