

when sowing seeds of grain crops. However, the problem of increasing the efficiency of using the entire design width of the coulters can be successfully solved if the mathematical justification of the technological parameters of the elements of the working body is applied.

The purpose of the article is to conduct an analysis of sowing methods, to carry out a literature and patent review of the constructions of combined working bodies for shelf-free tillage with simultaneous subsoil-broadcasting of grain crops or in-soil application of mineral fertilizers, analysis of the constructions of distribution devices of various authors and the efficiency of their use.

If you evaluate the working bodies for transporting and distributing the material when it is placed in the soil comprehensively according to three main indicators: the simplicity of the design, its reliability and ensuring the quality indicators of the execution of the technological process, then preference should be given to the working bodies with distributors of passive action. In this case, the first two indicators are simultaneously provided. In our opinion, the issue of the quality of the execution of the technological process - the uniformity of the distribution of the material along the width of the working body is urgent, therefore it requires a deeper study and the establishment of the main groups of factors that affect this indicator.

A significant drawback of most theoretical studies of the process of material distribution along the grip width of a flat-cutting working body is that the distributor is considered as a final factor and a structural element on which the main characteristic of the process depends - the uniformity of distribution, but in real conditions this indicator is significantly redistributed as a result of particle contact with soil.

At the same time, with modern trends in the field of tillage, its minimization, when more and more combined tools are used, which reduce not only the cost of obtaining a crop, but also, what is no less important, the load on the soil and the environment, from an ecological point of view, it proves the necessity further improvement of the designs of combined weapons and their working bodies. Therefore, in our opinion, work on improving the structures of such working bodies and further research into the parameters and modes of their functioning are promising.

**sowing methods, continuous sowing, combined, ground-spreading, guide, distributor, distribution**

*Одержано (Received) 01.11.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 16.11.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023*

**УДК 631.356.4**

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.227-236>

**А.В. Бабій**, проф., д-р техн. наук, **І.В. Головецький**, асп., **Ю.Б. Гладьо**, доц., канд. техн. наук

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*

*e-mail: avbabiytntu@gmail.com*

## Дослідження кінематичних параметрів вібраційного лемеша картоплекопача з використанням комп'ютерної програми

В роботі запропоновано нову конструкцію вібраційного лемеша картоплекопача, який конструктивно виконаний таким чином, що має можливість низки регулювань. В даному конструктивному рішенні можна змінювати величину кривошипа приводу, довжини ланок шарнірних підвісів та встановлювати на диску кривошипа противагу для зрівноважування механізму. Це дозволяє забезпечити полегшене проникнення лемеша у ґрунт, створити направлений рух бульбоносної маси та покращити сепарацію вже під час підкопування. Представлену конструкцію вібраційного лемеша аналітично описано за допомогою методу замкнених векторних контурів та виконано кінематичний аналіз такого багатоланкового механізму з використанням спеціально розробленої комп'ютерної програми, що дозволяє моделювати та аналізувати можливі рухи точок ланок вібраційного лемеша.

**картопля, ґрунт, бульбоносний пласт, вібраційний леміш, картоплекопач, підкопування, сепарація, вібраційний рух, багатоланкова шарнірна система, кінематичний аналіз, кривошип**

© А.В. Бабій, І.В. Головецький, Ю.Б. Гладьо, 2023

**Постановка проблеми.** Україна посідає провідне місце у світовому рейтингу виробників картоплі. Дані служб статистики обласних адміністрацій вказують на те, що лівова частка цього продукту виробляється саме в домогосподарствах чи невеликих фермерських господарствах. Наприклад, у звіті Львівської обласної адміністрації за 2021 рік вказано, що «Основне виробництво картоплі на Львівщині зосереджено в домогосподарствах...» [13].

Ці факти свідчать про те, що в таких господарствах є потреба, як правило, у малогабаритній ефективній техніці. Від ступеня механізації дрібних господарств напряму залежить рівень культури агровиробництва. Не винятком є і картоплярство. Особливо трудомісткою є технологічна операція збирання картоплі. Постійне удосконалення робочих органів картоплезбиральних машин залишається актуальною задачею машинобудівників та агроінженерів [5].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** За аналізом літературних джерел [1-4, 6, 9, 15], автори розглядають проблеми підкопування та сепарації коренебульбоплодів. Задачі полягають у зменшенні тягових опорів при підкопуванні бульбоносного пласту ґрунту, підвищенні ефективності сепарації ґрунту на пруткових подовжувачах лемеша і далі на різного роду очисниках. В працях [10, 12] пропонуються рішення щодо нових підходів у технології вирощування картоплі через формування сприятливого ґрунтового середовища для розвитку рослини. Такі зміни матимуть неодмінний вплив і на технологічну операцію збирання картоплі.

Разом з тим, отримані обґрунтовані рішення, в більшій мірі, стосуються професійних картоплекопачів, а малогабаритні картоплезбиральні машини виготовляють спрощеної конструкції [7, 8], що часто відображається на ефективності їх роботи. Тому варто напрацювати нові конструкторські рішення для удосконалення малогабаритної техніки, яка приймає на себе лівову частку при виробництві картоплі в Україні.

**Постановка завдання.** Як показує практика, виробники малогабаритних картоплекопачів максимально спрощують конструкції, не допускаючи збільшення їх вартості, рис. 1. Це з одного боку є виправданим кроком, але з іншого – представлені на ринку машини, на думку авторів, не завжди мають задовільні показники ефективності роботи.



Рисунок 1 – Світлини типових конструкції картоплекопачів із вібраційними лемешами

Джерело: [14]

Наприклад, наведені в роботі [14] малогабаритні картоплекопачі – це відносно надійні машини, але вібраційний рух лемеша можливий тільки відносно осі обертання, тобто точки шарнірного закріплення лемеша до рами машини. Це не дозволяє забезпечити заданий закон руху різального леза для ефективного підкопування та сепарації бульбоносного пласту.

Тому є необхідність, незначно ускладнюючи конструкцію, забезпечити для лемеша більше можливих рухів з метою полегшеного його проникнення в бульбоносний пласт ґрунту, утворення направленого руху підкопаної маси та інтенсивнішої її сепарації.

**Виклад основного матеріалу.** Для реалізації поставленого завдання було запропоновано нову конструкцію вібраційного лемеша, яка реалізуватиметься в схемі картоплекопача.

Представлена конструкція вібраційного лемеша (рис. 2) відрізняється від наведених на рис. 1 тим, що кривошип виконано у вигляді диска 13, у якому в радіальному напрямку зроблено паз 12, де на заданій відстані від осі обертання фіксується з'єднувальний шарнір 11 шатуна 10. Це забезпечує можливість встановлювати потрібну величину кривошипа для приводу лемеша. Крім того, в такого роду копачів існує проблема динамічної незрівноваженості, що викликає значні його вібрації, тому у диску кривошипа 13 концентрично виконано отвори 15 для закріплення зрівноважувальної противаги 16. Інша відмінність вібраційного лемеша полягає в тому, що різальне лезо 1 з прутковими подовжувачами 2 закріплене на двох парах шарнірних підвісів 3 і 4. Передні підвіси 3 мають визначену довжину та шарнірно з'єднані з різальним лезом 1 та рамою 5. Задня пара шарнірних підвісів 4 має для приєднання до рами 5 регульовальні отвори 7. Ці підвіси 4 з'єднані між собою поперечиною 6 у жорстку рамку, посередині якої закріплено кронштейн 9 з отворами 8 для з'єднання з кривошипом 10.

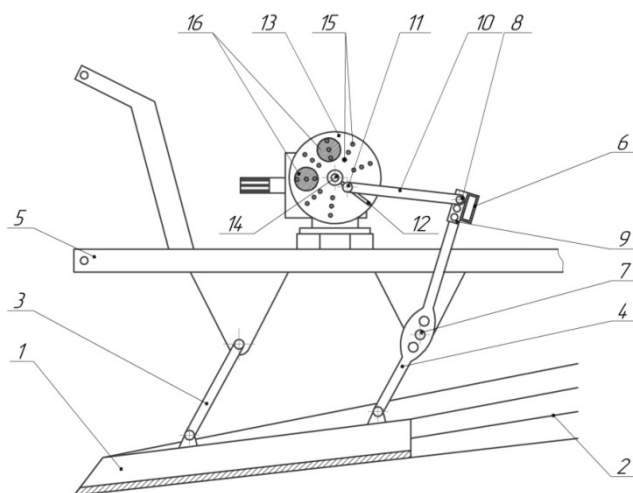


Рисунок 2 – Принципова схема вібраційного лемеша в конструкції картоплекопача  
*Джерело: розроблено авторами*

Далі детальніше розглянемо будову та принцип роботи представленої конструкції вібраційного лемеша, рис. 2.

Приводний вал 14 отримує крутний момент від енергетичного засобу, наприклад через конічний редуктор та від ВВП енергозасобу. Разом із приводним валом 14 обертається диск кривошипа 13, в пазі 12 якого зафіксований з'єднувальний шарнір 11 на заданій відстані від осі обертання, що утворює величину радіуса кривошипа. Приєднавши до з'єднувального шарніра 11 шатун 10, через який передається зусилля на поперечину 6, при їх з'єднанні в одному з отворів 8 у кронштейні 9, а відповідно і передається на пару шарнірних підвісів 4. Фіксація шарнірних підвісів 4 у середній частині з допомогою одного із регульовальних отворів 7

до рами 5 дає можливість отримати ефект важеля. Вибираючи один із регулювальних отворів 7 для приєднання до рами 5, регулюють величину нижнього плеча пари шарнірних підвісів 4. Аналогічним чином можна змінювати величину верхнього плеча пари шарнірних підвісів 4, вибираючи для з'єднання з шатуном 10 один із отворів 8 у кронштейні 9 на поперечині 6. Таким чином, парою шарнірних підвісів 4 передається зусилля до різального леза 1 з прутковими подовжувачами 2, що викликає їх переміщення при утворенні багатоланкової шарнірної системи, яка може забезпечити визначений закон руху площини різального леза 1 лемеша.

При виконанні машиною технологічного процесу викопування картоплі утворений вібраційний леміш різальним лезом 1 входить у бульбоносний пласт, підрізає його, а вібраційні зворотно-поступальні рухи утворюють ефект псевдорозрідженого середовища, що полегшує проникнення різального леза 1 у невідкопаний бульбоносний пласт. Змінюючи положення з'єднувального шарніра 11 у пазі 12 диска кривошипа 13, тобто величину кривошипа, а також величини плечей пари шарнірних підвісів 4 з допомогою відповідних регулювальних отворів 7 і отворів 8 у кронштейні 9, можна забезпечити заданий закону руху площини різального леза 1 з прутковими подовжувачами 2. Це має визначальне значення щодо можливості ефективного підкопування бульбоносного пласту, наприклад амплітуда коливань різального леза 1, а також можливості направленої транспортування підкопаної маси утвореною коливною площиною з можливістю одночасної сепарації на пруткових подовжувачах 2.

Оскільки вихідна ланка утвореного вібраційного лемеша картоплекопача здійснює зворотно-поступальні рухи, то така система буде незбалансованою і утворені вібрації всієї машини будуть передаватися на енергетичний засіб, а відповідно і людину, яка ним керує. Тому для усунення такого недоліку в конструкції вібраційного лемеша картоплекопача передбачено використання диска кривошипа 13, який виконує роль маховика, а закріплена зрівноважувальна противага 16 у визначених концентрично розміщених отворах 15 дозволяє частково збалансувати утворену динамічну систему. Величина маси зрівноважувальної противаги 16 та місце її розміщення на диску кривошипа 13 визначаються додатковими розрахунками та корегуються в процесі експлуатації.

На рис. 2 наведено принципову схему вібраційного лемеша картоплекопача, яка дає уяву про його принцип роботи та основні регулювання. Але щоб перейти до конструктивних розрахунків та розробки робочих креслень складових, необхідно виконати спочатку кінематичний аналіз такого механізму. З цією метою представимо узагальнену кінематичну схему (рис. 3).

Для кінематичного аналізу такого багатоланкового механізму (рис. 3) досить простим та ефективним є метод замкнених векторних контурів [11].

Як видно, цей механізм складається із двох контурів:  $O_1ABO_2$  та  $O_2CDO_3$ .

Позначимо векторами відповідні ланки:

- $\vec{l}_1$  – кривошип;
- $\vec{l}_2$  – шатун;
- $\vec{l}_3$  – верхнє плече пари шарнірних підвісів 4 (рис. 2);
- $\vec{l}_4$  – нижнє плече пари шарнірних підвісів 4 (рис. 2);
- $\vec{l}_5$  – леміш;
- $\vec{l}_6$  – пара шарнірних підвісів 3 (рис. 2).

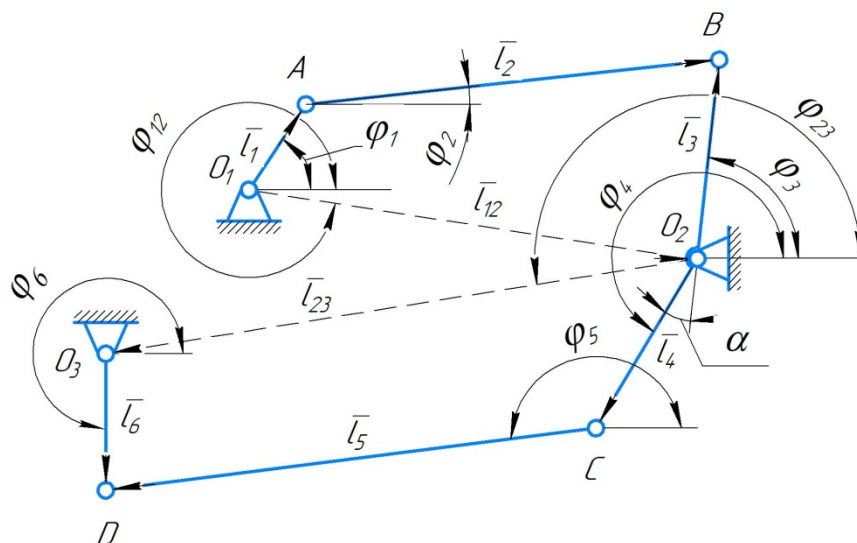


Рисунок 3 – Кінематична схема вібраційного лемеша

Джерело: розроблено авторами

Вектори  $\vec{l}_{12}$  та  $\vec{l}_{23}$  з'єднують центри обертання ланок  $O_1O_2$  та  $O_2O_3$ , відповідно. Тоді векторні рівняння для кожного з контурів запишемо у вигляді:

$$\vec{l}_1 + \vec{l}_2 = \vec{l}_{12} + \vec{l}_3; \quad (1)$$

$$\vec{l}_4 + \vec{l}_5 = \vec{l}_{23} + \vec{l}_6. \quad (2)$$

Спроектуємо ці рівняння на осі ортогональної системи  $XOY$ , вважаючи відомими довжини ланок та координати центрів обертання:  $O_1(x_1, y_1)$ ,  $O_2(x_2, y_2)$  та  $O_3(x_3, y_3)$ . Кожна ланка має кут нахилу до осі  $OX$ , який позначимо  $\varphi_i$ ,  $i$  – індекс, що відповідає номеру ланки (рис. 3). В проєкціях на осі, отримаємо:

$$\begin{cases} l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 = l_3 \cos \varphi_3 + l_{12} \cos \varphi_{12}, \\ l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 = l_3 \sin \varphi_3 + l_{12} \sin \varphi_{12}; \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} l_4 \cos \varphi_4 + l_5 \cos \varphi_5 = l_6 \cos \varphi_6 + l_{23} \cos \varphi_{23}, \\ l_4 \sin \varphi_4 + l_5 \sin \varphi_5 = l_6 \sin \varphi_6 + l_{23} \sin \varphi_{23}; \end{cases} \quad (4)$$

Очевидно, що тут існує взаємозв'язок:

$$l_{12} \cos \varphi_{12} = x_2 - x_1;$$

$$l_{12} \sin \varphi_{12} = y_2 - y_1;$$

$$l_{23} \cos \varphi_{23} = x_3 - x_2;$$

$$l_{23} \sin \varphi_{23} = y_3 - y_2.$$

Звідки отримаємо наступні залежності:

$$\begin{cases} l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 = l_3 \cos \varphi_3 + (x_2 - x_1), \\ l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 = l_3 \sin \varphi_3 + (y_2 - y_1); \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} l_4 \cos \varphi_4 + l_5 \cos \varphi_5 = l_6 \cos \varphi_6 + (x_3 - x_2), \\ l_4 \sin \varphi_4 + l_5 \sin \varphi_5 = l_6 \sin \varphi_6 + (y_3 - y_2); \end{cases} \quad (6)$$

Між кутами  $\varphi_3$  і  $\varphi_4$  існує конструктивний кінематичний зв'язок

$$\varphi_4 = \varphi_3 + (\pi - \alpha). \quad (7)$$

Кут повороту кривошипа  $\varphi_1$  відомий, решта кутових параметрів знаходимо із розв'язку систем рівнянь (5) і (6).

Після перетворень отримаємо:

$$\varphi_3 = \arcsin\left(\frac{c_1}{q_1} \cos \gamma_1\right) - \gamma_1; \quad (8)$$

$$\varphi_2 = \arcsin\left(\frac{q_1 + l_3 \sin \varphi_3}{l_2}\right); \quad (9)$$

$$\varphi_6 = \arcsin\left(\frac{c_2}{q_2} \cos \gamma_2\right) - \gamma_2; \quad (10)$$

$$\varphi_5 = \arcsin\left(\frac{q_2 + l_6 \sin \varphi_6}{l_5}\right); \quad (11)$$

де  $u_1 = x_2 - x_1 - l_1 \cos \varphi_1$ ;  $q_1 = y_2 - y_1 - l_1 \sin \varphi_1$ ;  $u_2 = x_3 - x_2 - l_4 \cos \varphi_4$ ;

$$q_2 = y_3 - y_2 - l_4 \sin \varphi_4; \quad c_1 = \frac{l_2^2 - l_3^2 - u_1^2 - q_1^2}{2l_3}; \quad c_2 = \frac{l_5^2 - l_6^2 - u_2^2 - q_2^2}{2l_6}; \quad \gamma_1 = \arctg \frac{u_1}{q_1};$$

$$\gamma_2 = \arctg \frac{u_2}{q_2}.$$

Таким чином описано основні кінематичні зв'язки між ланками утвореного механізму, що дозволяє аналізувати його кінематичні параметри.

Метою такого дослідження є вибір раціональних конструктивних параметрів механізму вібраційного лемеша картоплекопача, які забезпечуватимуть ефективний енергозберігаючий режим роботи одночасно з високою продуктивністю підкопування та сепарацією бульбоносного пласту.

Задача є доволі складною, якщо для її реалізації не застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення. Тому для проведення досліджень створена комп'ютерна програма розрахунку, за допомогою якої можна змінювати параметри ланок механізму з візуалізацією їх руху та отримувати графіки переміщень, швидкостей і прискорень досліджуваних точок механізму тощо.

На рис. 4 наведено візуалізовані результати дослідження кінематичних параметрів розробленого вібраційного лемеша картоплекопача.

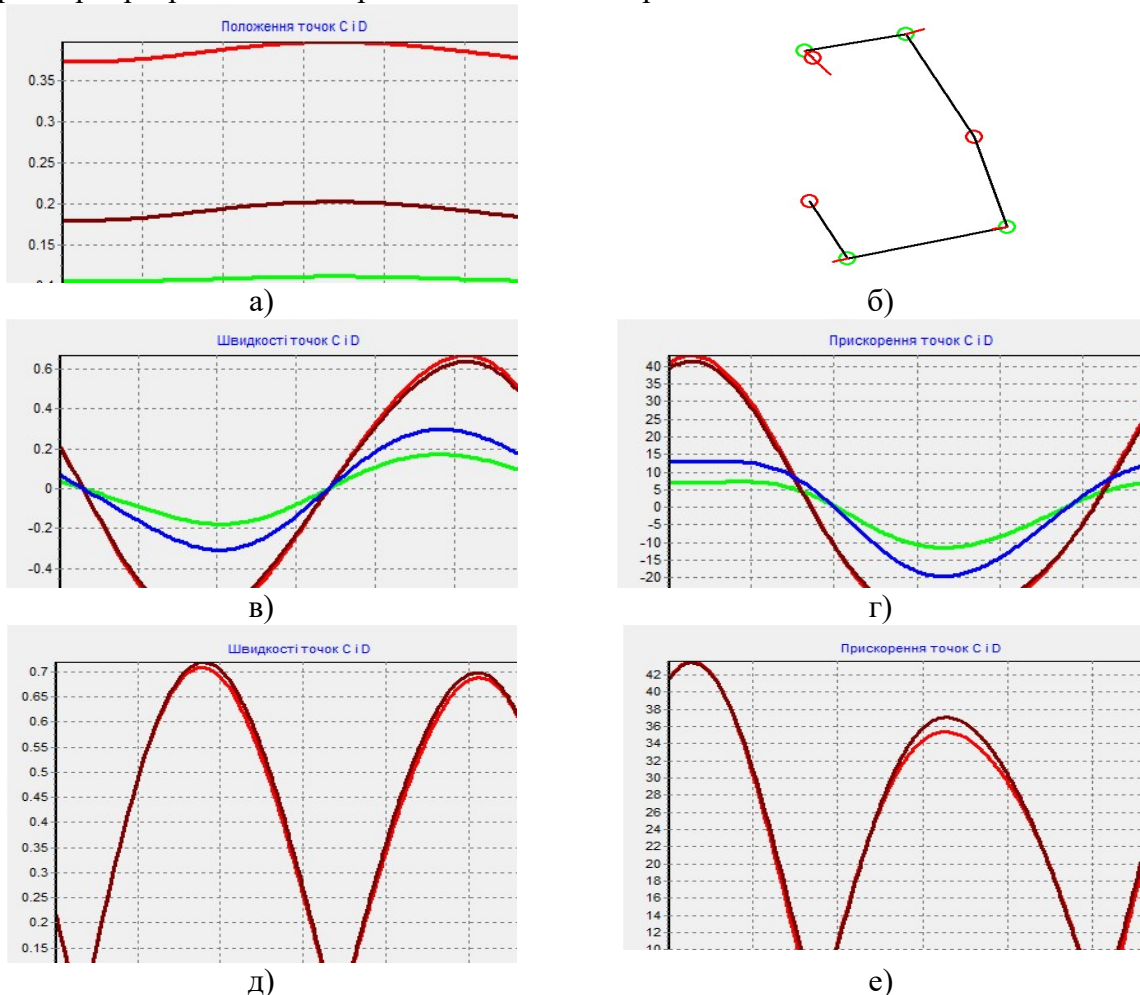


Рисунок 4 – Візуалізація кінематичних параметрів при роботі вібраційного лемеша  
 Джерело: розроблено авторами

Наведені графічні залежності (рис. 4) кінематичних параметрів характерних точок ланок визначені при частоті обертання кривошипа 540 об/хв. Геометричні розміри ланок, координати розміщення шарнірів їх обертання прийнято конструктивно та піддано аналізу з допомогою розробленої комп'ютерної програми. На рис. 4: а – переміщення точок ланок в абсолютних координатах; б – скріншот анімації руху ланок; в, г – швидкості та прискорення точок в проекціях на координатні осі; д, е – абсолютні швидкості та прискорення точок. Отримані результати дозволяють, наклавши певні умови, віднайти раціональні параметри розробленого вібраційного лемеша картоплекопача.

**Висновки.** Таким чином, за виконанням аналізом літературних та інших джерел інформації було встановлено недоліки базових конструкцій вібраційних лемешів малогабаритних картоплекопачів. Як вирішення поставленої задачі було запропоновано

нову конструкцію вібраційного лемеша картоплекопача, який може забезпечити необхідні регулювання з метою зміни амплітуди підкопування від 10 мм до 35 мм, утворення направленої руху маси бульбоносного пласта площиною лемеша у діапазоні частот обертання приводного вала від 300 об/хв – 600 об/хв, що підвищить ефективність сепарації та дасть можливість агрегування з різними енергетичними засобами, що мають відмінні частоти обертання ВВП. А можливість часткового балансування динамічної системи при використанні зрівноважувальної противаги підвищить ресурс роботи механізму приводу в цілому.

Утворений багатоланковий механізм, його кінематичні параметри, описано рівняннями на основі методу замкнених векторних контурів. Для числової реалізації результатів та їх візуалізації, а також визначення раціональних параметрів запропонованого механізму розроблено спеціальну комп'ютерну програму, що дає можливість досліднику здійснювати пошук в автоматизованому режимі.

## Список літератури

1. Baranovsky V.M., Onishchenko V.B., Solomka V.O. Improvement directions of separating working parts of the root tubers machines, *Scientific journal: The works of the NAU "Mechanization of agricultural production"*, 2002. Vol. XII, pp. 31-42, Kyiv.
2. Bulgakov V., Nikolaenko S., Adamchuk V., Z., Olt J. Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor. *Agronomy Research*. 2018. 16(1). Pp. 52-63. DOI: 10.15159/AR.18.037.
3. Firman Yu., Hrushetsky S., Investigation and substantiation of the parameters of the potato digger with a drum separator of potato tubers and residues. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 17, No 1. Pp. 17-26, Lublin / Poland.
4. Hrushetsky S.M., Yaropud V.M., Duganets V.I., Duganets V.I., Pryshliak V.L., Kurylo V.M. Research of constructive and regulatory parameters of the assembly working organs for the potato's harvesting machines. *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 59. № 3. pp. 101-110. DOI: 10.35633/INMATEH-59-11.
5. Бабій А.В., Головецький І.В., Герасимович П.В. Проблеми та перспективи розвитку картоплярства в Україні. *Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей X-ої Міжн. наук.-практ. конф. молодих учених та студ.* (Тернопіль). 2021. Т.1. С. 25-26.
6. Розрахункова математична модель руху частинок вороху при вібраційному очищенні картоплі від домішок. / Булгаков В.М. та ін. *Вісник аграрної науки*. 2022. №2 (827). 58-65.
7. Головецький І.В., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей найпростіших картоплекопачів. *Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики : матеріали Міжн. наук.-практ. конф.* (Тернопіль, 29-30 вересня 2022 р.). С. 49-50.
8. Головецький І.В., Бабій А.В. Аналіз типу приводу робочих органів картоплекопача. *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем (Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems): Матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф.* (13-15 квітня 2022 р., Кропивницький), 2022. С.100-102.
9. Грушецький С.М., Рудь А.В., Семенишина І.В., Медведєв Є.П. The technological process pattern of potato root harvester. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка : журнал*. 2019. № 31. С. 52-60. DOI: 10.37406/2706-9052-2019-2-7.
10. Дідух В.Ф., Цизь І.Є., Тарасюк В.В., Данилюк В. М., Тарасюк Д.В. Особливості вирощування картоплі в умовах полісся з використанням місцевих добрив. *Технічний прогрес в АПВ : Матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф.*, 2023. С. 95-98.
11. Кіницький Я.Т. Короткий курс теорії механізмів і машин: підр. для інж.-тех. спец. вищих закл. України. 2-е вид., переобл. і скор. Львів: *Афіша*, 2004. 272 с.
12. Обґрунтування вирощування картоплі за технологією Streep-Till. / В.І. Пастухов. *Інженерія природокористування*. 2020. № 2 (16). С. 25-32.
13. У Львові напрацьовували рішення задля підтримки галузі картоплярства : веб-сайт. URL : <https://old.loda.gov.ua/news?id=60096> (дата звернення: 04.10.2023).
14. Характеристики та вибір картоплекопачів для міні-трактора : веб-сайт. URL : <https://gardenunion.com.ua/kartoplekopach-dlja-mini-traktoriv-41> (дата звернення: 05.10.2023).



15. Шимко А.В. Обґрунтування параметрів підкопувальної частини нового робочого органу для картоплекопачки. *The newest problems of science and ways to solve them : The XXX International Scientific and Practical Conference*, (August 02 – 05, 2022, Helsinki, Finland), 2022. Pp. 265-269.

## References

1. Baranovsky, V.M., Onishchenko, V.B. & Solomka, V.O. (2002). Improvement directions of separating working parts of the root tubers machines. *Scientific journal: The works of the NAU "Mechanization of agricultural production"*, Vol. XII, pp. 31-42 [in English].
2. Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Adamchuk, V.Z. & Olt, J. (2018). Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor. *Agronomy Research*. 16(1), pp. 52-63. DOI: 10.15159/AR.18.037 [in English].
3. Firman, Yu. & Hrushetsky, S. (2015). Investigation and substantiation of the parameters of the potato digger with a drum separator of potato tubers and residues. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, Vol. 17, No 1, pp. 17-26, Lublin / Poland [in English].
4. Hrushetsky, S.M., Yaropud, V.M., Duganets, V.I., Duganets, V.I., Pryshliak, V.L. & Kurylo, V.M. (2019). Research of constructive and regulatory parameters of the assembly working organs for the potato's harvesting machines. *INMATEH-Agricultural Engineering*, Vol. 59, № 3, pp. 101-110. DOI: 10.35633/INMATEH-59-11 [in English].
5. Babii, A.V., Holovetskyi, I.V. & Herasymovych, P.V. (2021). Problemy ta perspektyvy rozvytku kartopliarstva v Ukraini [Problems and prospects of the development of potato growing in Ukraine]. *Zbirnyk tez dopovidei Kh-oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv „Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii“*. (Ternopil), Vol. A. Issue 1, 25-26 [in Ukrainian].
6. Bulhakov, V.M., Holovach, I.V., Ruzhylo, Z.V., Kornushyn, V.M., Ihnatiev, Ye.I. & Andrievska, M.A. (2022). Rozrakhunkova matematychna model rukhu chastynok vorokhu pry vibratsiinomu ochyshchenni kartopli vid domishok [A calculated mathematical model of the movement of pile particles during the vibratory cleaning of potatoes from impurities]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Herald ti Siensia ti Agrario*, 2 (827), 58-65 [in Ukrainian].
7. Holovetskyi, I.V. & Babii, A.V. (2022). Analiz konstruktyvnykh osoblyvosti naiprostishykh kartoplekopachiv [Analysis of the design features of the simplest potato diggers]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Protsey, mashyny ta obladnannia ahropromyslovoho vyrobnytstva: problemy teorii ta praktyky»*. (Ternopil, 29-30 veresnia 2022), 49-50 [in Ukrainian].
8. Holovetskyi, I.V. & Babii, A.V. (2022). Analiz typu pryvodu robochykh orhaniv kartoplekopacha [Analysis of the type of drive of the potato digger working elements]. *Materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Pidvyshchennia nadiinosti i efektyvnosti mashyn, protsesiv i system. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems"*, (13-15 kvitnia 2022 r. Kropyvnytskyi), 100-102 [in Ukrainian].
9. Hrushetskyi, S.M., Rud, A.V., Semenyshyna, I.V. & Medvediev, Ye.P. (2019). The technological process pattern of potato root harvester. *Zhurnal «Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika»*. № 31. Kamianets-Podilskyi. DOI: 10.37406/2706-9052-2019-2-7 [in Ukrainian].
10. Didukh, V.F., Tsyz, I.Ie., Tarasiuk, V.V., Danyliuk, V. M. & Tarasiuk, D.V. (2023). Osoblyvosti vyroshchuvannya kartopli v umovakh polissia z vykorystanniam mistsevykh dobryv [Features of growing potatoes in Polissya conditions using local fertilizers]. *Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Tekhnichniy prohres v APV»*, 95-98 [in Ukrainian].
11. Kinytskyi, Ya.T. (2004). Korotky kurs teorii mekhanizmiv i mashyn [A short course in the theory of mechanisms and machines]. 2-d ed. Lviv: *Afisha* [in Ukrainian].
12. Pastukhov, V. I., Kyrychenko, R. V., Bakum, M. V., Krekot, M. M., Mohylna, O. M., Melnyk, O. V. et al. (2020). Obgruntuvannya vyroshchuvannya kartopli za tekhnolohiieiu Streep-Till [Justification for growing potatoes using the Streep-Till technology. Environmental Engineering]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannya – Inhenieria ti panangtarawidwid iti nakaparsuaan*, № 2 (16), 25-32 [in Ukrainian].
13. U Lvovi napratsovuvaly rishennia zadlia pidtrymky haluzi kartopliarstva [Solutions were developed in Lviv to support the potato growing industry]: veb-sait. *old.loda.gov.ua*. Retrieved from <https://old.loda.gov.ua/news?id=60096> [in Ukrainian].
14. Kharakterystyky ta vybir kartoplekopachiv dlia mini-traktora [Characteristics and selection of potato diggers for a mini tractor]: veb-sait. *gardenunion.com.ua*. Retrieved from <https://gardenunion.com.ua/kartoplekopach-dlja-mini-tractoriv-41> [in Ukrainian].
15. Shymko, A.V. (2022). Obgruntuvannya parametriv pidkopuvalnoi chastyny novoho robochoho orhanu dlia kartoplekopachky [Justification for the parameters of the digging part of the new working element for

the potato digger]. *The XXX International Scientific and Practical Conference «The newest problems of science and ways to solve them»*, (August 02 – 05, 2022, Helsinki, Finland), 265-269 [in Ukrainian].

**Andrii Babii**, Prof., DSc., **Ivan Holovetskyi**, post-graduate, **Yurii Hlado**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.  
*Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine*

### **Research of Kinematic Parameters of the Vibrating Ploughshare of a Potato Digger Using a Computer Program**

Statistical data show that a significant share of potatoes is grown in subsidiary farms in Ukraine, so there is a need for small-sized, efficient equipment. The level of agricultural culture directly depends on the degree of mechanization of small farms. The purpose of the work is to improve the design of a small-sized potato harvester while increasing the efficiency of its ploughshare.

A new design of a vibrating ploughshare in the design of a small-sized potato digger is proposed, which differs from typical designs in that the crank is made in the form of a disk, in which a groove is made in the radial direction. The connecting rod connecting hinge is fixed in the groove at a given distance from the axis of rotation. This provides an opportunity to set the required crank size for driving the ploughshare.

In addition, this type of diggers has the problem of significant vibrations. Therefore, the crank disk has concentrically made holes for fixing the counterweight for partial balancing. Another difference of the vibrating ploughshare is that the cutting blade with rod extensions that is secured on two pairs of hinge suspensions. The front hangers have a certain length and are hinged to the cutting blade. Rear pair of hinge suspensions has made adjusting holes in middle part for connection to frame.

These suspensions are connected to each other by a crossbar in a rigid frame, in the middle of which is fixed a bracket with holes for connection with a crank. Such a ploughshare will make it easier to penetrate the soil, better self-cleaning, create a directed movement of the soil mass with potatoes and carry out primary separation more intensively. The kinematic movements of such a vibrating ploughshare are described using the method of closed vector contours, and the numerical implementation of the mathematical model is done using the author's computer program.

Thus, the new design of the vibrating ploughshare of the potato digger can provide the necessary regulation in order to change the digging amplitude, create a directional movement of the soil and potato mass and increase the efficiency of separation, as well as the possibility of partial balancing of the dynamic system when using a counterweight.

The kinematic parameters of the formed multipurpose mechanism are described by equations based on the method of closed vector contours. For the numerical implementation of the results and their visualization, as well as the determination of the rational parameters of the proposed mechanism, a special computer program has been developed, which enables the researcher to perform a search in an automated mode.

**potato, soil, tuberous layer, vibrating ploughshare, potato digger, digging, separation, vibration movement, multipurpose hinge system, kinematic analysis, crank**

*Одержано (Received) 17.10.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 09.11.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023*