

УДК 631.332.7

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.192-199](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.192-199)**Б.О. Блашак**, асп., **А.В. Бабій**, проф., д-р техн. наук*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна**e-mail: bogdanblashak@gmail.com*

Обґрунтування окремих конструктивно-технологічних параметрів картоплекосадочної машини

У роботі запропоновано нову конструктивно-технологічну схему картоплекосадочної машини. Особливістю такої конструкції є те, що тут передбачено виконання смугового фрезерування по осі формованого ряду, а утворена ґрунтова стружка присипає насіння картоплі, яке вкладається на сформоване та ущільнене посадкове ложе. Дві пари загортачів формують спочатку малий гребень свіжим ґрунтом та фінальний великий гребень – ґрунтом з міжрядь. При виконанні дослідження обґрунтовано вибір кінематичного режиму роботи фрезерних барабанів по відношенню до товщини ґрунтової стружки, що вирізається ножами, та зроблено вибір типу загортачів.

картопля, підготовка ґрунту, смугове фрезерування, кінематичний режим, насіння, загортач, гребень, поступальна швидкість, грудкуватість, окупник

Постановка проблеми. Отримання високого урожаю картоплі залежить від багатьох чинників. Серед найважливіших – це спосіб посадки з належною підготовкою ґрунту, що дає відповідний «старт» рослині, та процес збирання, який дозволяє уникнути пошкодження бульб і втрат урожаю в цілому. Виділені технологічні операції хоча в часі і розведені, але в технологічному плані дуже пов'язані між собою. Переважно всі технології вирощування картоплі вказують на те, що картопля краще розвивається, коли її посадка здійснюється гребневим способом [5, 10], проте, як формується гребень, які прошарки ґрунту його утворюють мало де регламентується. А від цих чинників залежатиме ефективність дихання та живлення рослини. З іншого боку – розвинуті плоди формують у гребнях гнізда, що надалі визначають перетин бульбоносного пласту. Цей чинник є важливим для завантаження робочих органів збиральної машини, зокрема, підкопуючих та сепарувальних робочих органів, а також енергетичних затрат на процес збирання. Тому комплекс машин для вирощування картоплі має бути синхронізованим з метою отримання максимальних урожаїв та мінімальних затрат на процес виробництва картоплі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Якщо розглядати питання вирощування картоплі у великих професійних господарствах з високим ресурсним забезпеченням, то ці питання є відносно добре розвинутими та відлагодженими. Але статистика вирощування картоплі в Україні вказує на те, що значна частка цього продукту виробляється у невеликих фермерських чи підсобних господарствах, де ресурсне забезпечення потребує певного нарощення [1].

В багатьох працях розглядають процес утворення посадкового ложа для насіння картоплі та її зароблення із формуванням гребеня [7, 8], проте, питання шарового формування перетину гребеня із використанням профрезерованої смуги вздовж осі рядка практично є нерозвинутими та невисвітленими у літературі.

Постановка завдання. Метою дослідження є обґрунтування окремих конструктивно-технологічних параметрів картоплепосадочної машини, яка використовується у технології вирощування картоплі та призначена для роботи у невеликих господарствах в агрегаті з малопотужними енергозасобами.

Виклад основного матеріалу. Якісна підготовка ґрунту при посадці картоплі відіграє важливу роль при реалізації даної технологічної операції [9, 11]. Проблема весняного обробітку важких ґрунтів полягає в тому, що часто спостерігається їх значна грудкуватість. Це пов'язано з тим, що у західному регіоні України у весняний період спостерігається достатня кількість вологи, яка не дозволяє якісно виконати першу культивування ґрунту, а після – опади змінює посушлива спека. Результатом є утворення значної кількості задернелих грудок ґрунту, які важко розбити звичайною передпосівною культивуванням з боронуванням. Це призводить до того, що картоплепосадочна машина утворює борозенку для вкладання насіння картоплі у незадовільно підготовлений ґрунт та ним же заробляє насіння, утворюючи гребені. Оскільки період часу після посадки картоплі є посушливим, то така структура ґрунту та утворений ним гребень швидко пересихають та знижують потенціал картоплі до її проростання.

Для вирішення поставленої проблеми була розроблена нова технологічна схема картоплепосадочної машини, рис. 1 [2-4].

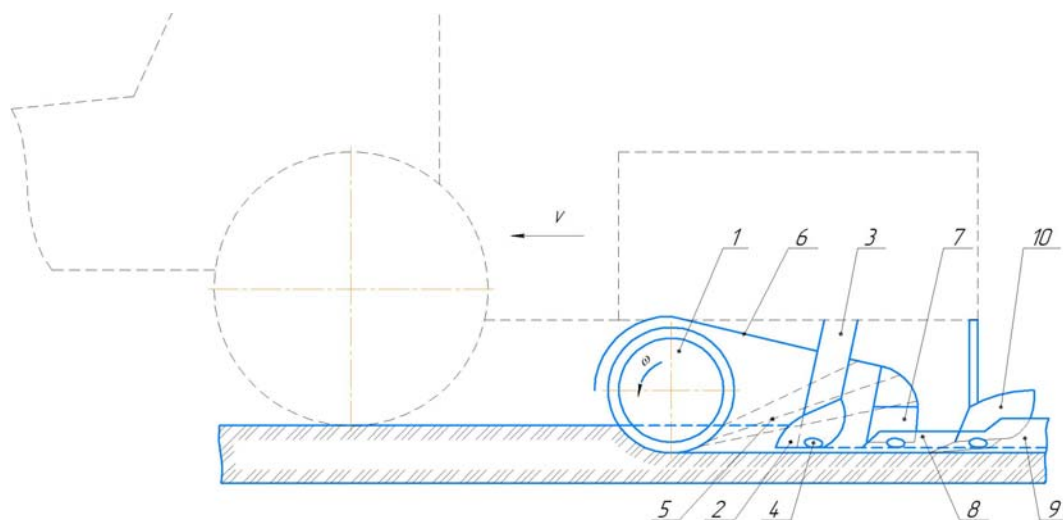


Рисунок 1 – Технологічна схема картоплепосадочної машини

Джерело: розроблено авторами

Особливістю такої конструкції картоплесаджалки є те, що кожна її секція обладнана фрезерним барабаном 1 (рис. 1), який приводиться в дію від ВВП енергозасобу та подрібнює крупногрудкуватий ґрунт на глибину посадки насіння, чим дозволяє сошнику 2 утворити ущільнене ложе. Через насіннепровід 3 насіння картоплі 4 разом з мінеральними добривами вкладається на дно утвореної борозенки і спершу присипається ґрунтовою стружкою 5 свіжого ґрунту, яка утворюється за результатом роботи фрезерного барабана 1 та відбивається від його кожуха 6. Крім того, загортачі 7 утворюють з профрезерованої смуги ґрунту малий гребень 8, що повністю прикриває насінину картоплі свіжим та подрібненим ґрунтом. Великий (фінальний) гребень 9, що забезпечує необхідну глибину зароблення насіння, формується лапами-окучниками 10.

В кінцевому результаті отримуємо якісну посадку картоплі у гребенях (рис. 2), де реалізовано наступні ефекти: формується якісне ложе для вкладання насіння за рахунок профрезерованої (розпушеної) смуги ґрунту, що дозволяє сошнику рухатись з

мінімальним опором та ущільнювати днище ложа і тим самим підтягувати вологу до насіння; енергія при фрезеруванні витрачається вдвічі менша у порівнянні з окремою операцією фрезерування при передпосівному обробітку ґрунту за рахунок смугового



Рисунок 2 – Вид гребенів після посадки картопляної грядки

Джерело: розроблено авторами

обробітку; насіння картоплі прикривається свіжим та оптимальної грудкуватості ґрунтом з профрезерованої смуги.

Якісне фрезерування забезпечується за рахунок правильно підбраного кінематичного режиму λ роботи фрезерного барабана із z ножами, тобто відношення колової швидкості u_n точки ножа радіусом R до поступальної швидкості агрегату (машини) \mathcal{G}_a .

Для налагодження фрезерного барабана посадкового агрегату варто скористатися залежностями, що описують зв'язок між поступальною швидкістю агрегату \mathcal{G}_a , коловою швидкістю активного робочого органу u_n та максимальною товщиною ґрунтової стружки δ , яка при цьому утворюється.

Таке обґрунтування можна зробити після аналізу траєкторій руху щонайменше двох сусідніх ножів фрезерного барабана. Як відомо, що будь-яка точка ножа фрези описує циклоїду, оскільки фрезерний барабан перебуває у відносному та переносному рухах.

В загальному вигляді рівняння циклоїди можна описати залежностями, що наведені у ряді класичної літератури:

– у вигляді параметричних рівнянь

$$\begin{cases} x = R(\varphi - \sin \varphi), \\ y = R(1 - \cos \varphi); \end{cases} \quad (1)$$

– в декартових координатах

$$x + \sqrt{y(2R - y)} = R \arccos\left(\frac{R - y}{R}\right), \quad (2)$$

де φ – кут повороту барабана.

Як видно, що рівняння (2) є непрактичним до використання у прикладних дослідженнях, тому за основу приймемо рівняння циклоїди в параметричній формі (1).

Перепишемо параметричні рівняння (1), відраховуючи кут φ від горизонтальної осі фрезерного барабана при русі останнього справа на ліво. Тут також врахуємо, що агрегат рухається зі швидкістю \mathcal{G}_a , а кут $\varphi = \omega t$ (ω – кутова швидкість фрезерного барабана; t – час.)

Для i -тої точки ножа фрези матимемо:

$$\begin{cases} x_i = \mathcal{G}_a t + R \cos \omega t, \\ y_i = R \sin \omega t. \end{cases} \quad (3)$$

Тоді подача на ніж буде визначатись переміщенням розглядуваної точки ножа у поступальному русі за час

$$t_z = \frac{2\pi}{\omega z}, \quad (4)$$

тоді, враховуючи співвідношення колової швидкості u_n до поступальної швидкості агрегату (машини) \mathcal{G}_a через показник кінематичного режиму роботи λ , отримаємо вираз подачі на ніж при роботі ґрунтообробної фрези

$$S_z = \frac{2\pi R}{\lambda z}. \quad (5)$$

Для вибору оптимально кінематичного режиму роботи фрезерного барабана потрібно керуватись агротехнічними вимогами, що регламентують висоту гребенів, які утворюються на дні борозни, їх значення не повинно перевищувати $h = 0,2a$, a – глибина фрезерування.

Запишемо вираз кінематичного режиму роботи фрезерного барабана з врахуванням висоти утворених гребенів

$$\lambda = \frac{R \left[\pi(z+2) - 2z \arcsin \left(1 - \frac{h}{R} \right) \right]}{2z(2hR - h^2)^{1/2}}. \quad (6)$$

Відповідно до виразу (6) варто вибирати значення λ в залежності від глибини фрезерування при дотриманні умови максимальної висоти гребенів на дні борозни, рис. 3.

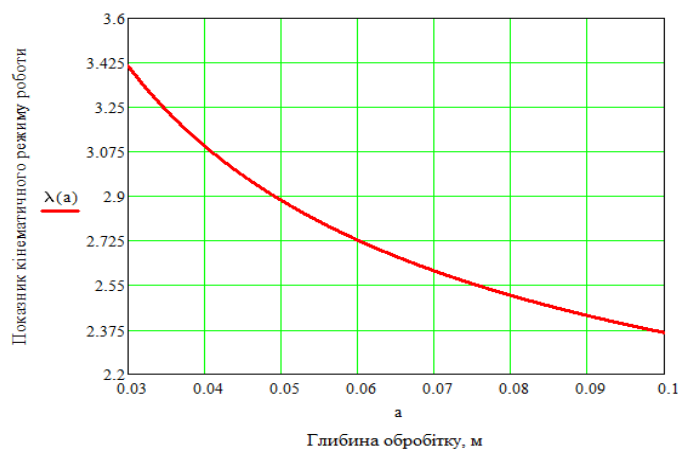


Рисунок 3 – Графічна залежність показника кінематичного режиму роботи фрезерного барабана від глибини обробітку

Джерело: розроблено авторами

Крім того, вибір кінематичного режиму роботи фрезерного барабана картоплепосадочного агрегату має забезпечувати оптимальну грудкуватість профрезерованої смуги, на що було наголошено вище. Визначення подачі на ніж не в повній мірі характеризує величину максимальної товщини стружки. Як показують числові розрахунки, що максимальна товщини ґрунтової стружки є дещо більшою від величини подачі на ніж. Тому є необхідність звести в одну залежність для визначення товщини ґрунтової стружки δ кінематичні показники та конструктивні параметри ґрунтової фрези.

Опускаючи проміжні викладки, отримаємо

$$\delta = \frac{4,44D\sqrt{\frac{a}{D} - \frac{2a^2}{D^2}}}{\lambda z}, \quad (7)$$

де D – діаметр фрезерного барабана.

Для налаштування посадкового агрегату варто навести графічну залежність зміни товщини ґрунтової стружки δ від частоти обертання фрезерного барабана n_b , та поступальної швидкості агрегату \mathcal{Q}_a , рис. 4.

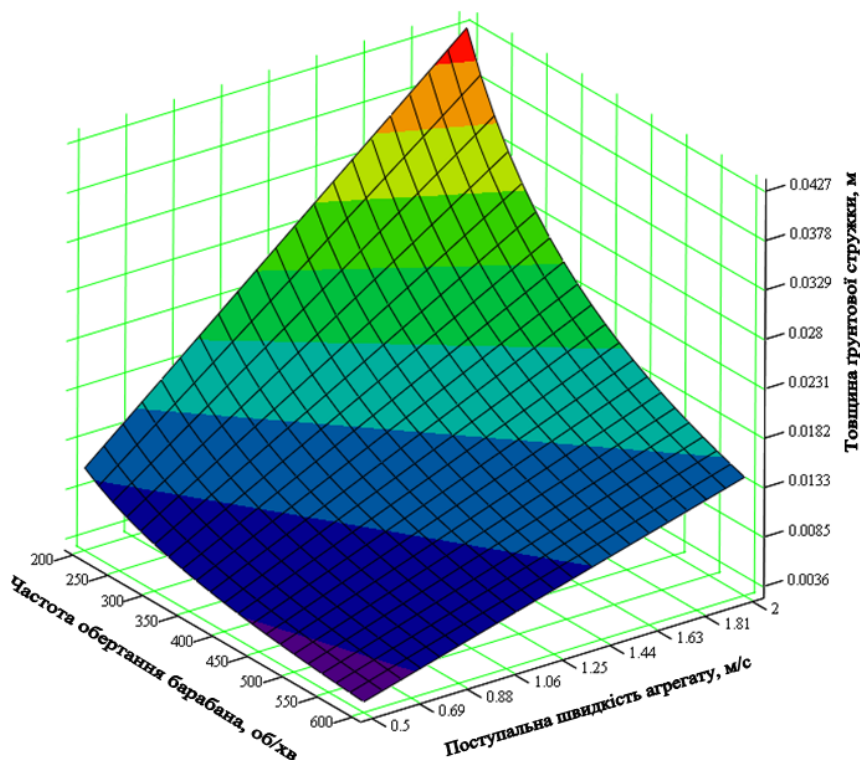


Рисунок 4 – Графічна залежність товщини ґрунтової стружки від кінематичних параметрів агрегату

Джерело: розроблено авторами

Графічну залежність (рис. 4) виконано за таких умов: діаметр фрезерного барабана – 0,5 м, кількість ножів – 6, глибина обробітку – 0,06 м, поступальна швидкість агрегату – 0,5...2 м/с, частота обертання фрезерного барабана варійована в межах – 200...600 об/хв [6].

Наведені графічні залежності (рис. 3 і 4) дозволяють належним чином налаштувати агрегат в частині роботи фрезерного барабана для здійснення ним якісної

підготовки ґрунту – забезпечення оптимальної грудкуватості картопляної грядки. Після цього налаштовують агрегат на задану норму посадки.

Ще одне питання, що виникає при якісному заробленні насіння картоплі у ґрунт, стосується вибору типу загортачів. Найбільш поширеними є пасивні клинові загортачі та напівактивні – дискові.

Розділимо дане питання на два окремих, оскільки в конструкції картоплепосадочної машини передбачені загортачі 7 (рис. 1) та лапи-окучники 10. При формуванні малого гребеня 8 використано пасивні клинові загортачі 7, оскільки їх конструкція є значно простішою у порівнянні з напівактивними дисковими загортачами, хоча останні мають кращу функціональну здатність до формування гребеня при оптимальному діаметрі дисків та радіусі їх кривизни. Але тут слід зауважити, що такі дискові робочі органи, якщо вони малого діаметра, практично втрачають здатність формувати гребень, а конструкція значно ускладнюється; при роботі дискового загортача-окучника у міжрядді на дні борозни утворюється додатковий гребень необробленої ділянки. Ефект виникнення додаткових гребенів – це специфіка роботи дискових ґрунтообробних робочих органів. Висота таких гребенів при роботі дискових борін, луцильників тощо регламентується на різних технологічних операціях агротехнічними вимогами. При обробітку поля на задану глибину цей недолік усувається перекриттям дисків – зміною кута атаки дискового знаряддя чи відстані між дисками. Якщо говорити про формування гребенів при посадці картоплі, то ці регулювання застосувати неможливо, оскільки культурна рослина висаджується у задані міжряддя, які порівняно великі щодо діаметрів дисків, щоб їх можна було використати при роботі з перекриттям. Тому для запропонованої конструкції картоплепосадочної машини було прийняте рішення, що для остаточного формування великого гребеня 9 (рис. 1) доцільно використовувати пасивні лапи-окучники 10. При їх роботі добре будуть прочищені міжряддя картопляної грядки, з якого будуть сформовані великі гребені 9, які наростять вже утворені малі гребені 8.

Висновки. На основі запропонованої конструкції картоплепосадочної машини спостерігаються певні ефекти при гребневому способі посадки картоплі. Формується якісне ложе для вкладання насіння за рахунок профрезерованої (розпушеної) смуги ґрунту, вздовж якої рухається сошник з мінімальним опором та своєю нижньою частиною, ущільнюючи днище, утворює додаткову маленьку борозенку, у яку вкладається насіння. За рахунок цього ущільнене днище дозволяє підтягувати вологу з нижніх горизонтів ґрунту, а його форма – додаткова маленька борозенка запобігає відхиленню вкладання бульб від осі рядка. Наступний ефект – це смугове фрезерування, при якому затрачається в 2 рази менша енергія у порівнянні з окремою операцією фрезерування при передпосівному обробітку ґрунту. Крім того, насіння картоплі прикривається свіжим та оптимальної грудкуватості ґрунтом з профрезерованої смуги.

Встановлено, що для фрезерного барабана картоплепосадочної машини діаметром 0,5 м оптимальною є частота обертання близько 265 об/хв, поступальна швидкість агрегату 3,3 км/год (0,92 м/с), тоді максимальна товщина стружки буде становити 15 мм.

Формування гребеня при заробленні насіння передбачає дві стадії – утворення спочатку малого, а потім фінального великого гребенів, де обґрунтовано використовуються пасивні клинові загортачі.

Список літератури

1. Бабій А.В., Головецький І.В., Гладь Ю.Б. Дослідження кінематичних параметрів вібраційного лемеша картоплекопача з використанням комп'ютерної програми. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин"*, 2023. Вип. 53. С. 227-236.
2. Блащак Б.О., Бабій А.В. Багатофункціональна мінікартоплепосадочна машина. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems»*, 19-21 квітня 2023 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. 155 с.
3. Блащак Б.О., Гамрач В.О. Передумови до обґрунтування конструктивних та кінематичних параметрів картоплесаджалки. *Збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції, 17 – 19 квітня 2024 р. «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем»*. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. С. 12-13.
4. Блащак Б.О.; Бабій А.В. Спосіб утворення борозенки та зароблення насіння картоплі при гребневому способі посадки. *Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів*, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2023. С. 94-95.
5. Вирощування картоплі в умовах Східного Лісостепу України: рекомендації. В. О. Муравйов, О. В. Мельник, Н. Г. Духіна, Т. В. Семибратьська, Л. М. Урюпіна. Вінниця : *Твори*, 2020. 48 с.
6. Грунтофреза навісна Bomet (Бомет) 1.4 м. URL: <https://agrotechsvit.com.ua/ua/p1537621625-rochvofreza-navesna-ya-bomet.html>.
7. Грушецький С.М. Інноваційна картопляна техніка – комплексне рішення задач. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодержавний міжвід. наук.-техн. зб.* Під заг. ред. І.М. Черновола. Кіровоград : КНТУ, 2009. Вип. 39. С. 68-81.
8. Дідух В.Ф., Тарасюк В.В., Тарасюк Д.В. Дослідження садильного апарату картоплі пасивного типу. *Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст.* Луцьк, 2020. Вип. 44. С. 41–50.
9. Думич В. Аналіз конструкцій для садіння картоплі. *Техніка і технології АПК*. 2012. № 12(39). С. 10–13.
10. Ляшук В. М., Дідух В. Ф., Герасимик-Чернова Т. П., Бартошик І. С. Особливості формування врожаю картоплі. *Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст.* Луцьк, 2019. Вип. 42. С. 49–55.
11. Томчук В.В. Картоплесаджалка для пророслих бульб. *Механізація сільськогосподарського виробництва. Промислова гідраліка і пневматика*. № 4 (58) 2017. С.54-57.

References

1. Babii A.V., Holovetskyi I.V., & Hlado Yu.B. (2023). Doslidzhennia kinematychnykh parametriv vibratsiinoho lemesha kartoplekopacha z vykorystanniam kompiuternoї prohramy [Study of kinematic parameters of the vibrating blade of a potato digger using a computer program]. *Zahalnoderzhavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. "Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn"*. Vyp. 53. P. 227-236 [in Ukrainian].
2. Blashchak B.O., & Babii A.V. (2023). Bahatofunktsionalna minikartopleposadochna mashyna [Multifunctional mini potato planter]. *Materialy V Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Pidvyshchennia nadiinosti i efektyvnosti mashyn, protsesiv i system. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems»*, 19-21 kvitnia 2023 r. Kropyvnytskyi : TsNTU, 155 p.[in Ukrainian].
3. Blashchak B.O., & Hamrach V.O. (2024). Peredumovy do obgruntuvannia konstruktyvnykh ta kinematychnykh parametriv kartoplesadzhalky [Prerequisites for substantiating the structural and kinematic parameters of the potato planter]. *Zbirnyk materialiv VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 17 – 19, kvitnia 2024 r. «Pidvyshchennia nadiinosti i efektyvnosti mashyn, protsesiv i system»*. Kropyvnytskyi : TsNTU. P. 12-13 [in Ukrainian].
4. Blashchak B.O., & Babii A.V. (2023). Sposib utvorennia borozenky ta zaroblennia nasinnia kartopli pry hrebnevomu sposobi posadky [The method of forming a groove and incorporation potato seeds with the ridge method of planting]. *Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii : zb. tez dopovidei KhII mizhnar. nauk.-prakt. konf. Molodykh uchenykh ta studentiv, (Ternopil, 6-7 hrudnia 2023) / M-vo osvity i nauky Ukrainy, Tern. natsion. tekhn. un-t im. I. Puliua [ta in.]*. Ternopil: FOP Palianytsia V. A., P.94-95 [in Ukrainian].
5. Vyroshchuvannia kartopli v umovakh Skhidnoho Lisostepu Ukrainy: rekomendatsii [Growing potatoes in the conditions of the Eastern Forest Steppe of Ukraine: recommendations]. V. O. Muraviov, .

- V. Melnyk, N. H. Dukhina, T. V. Semybratska, L. M. Uriupina. Vinnytsia: Tvory, 2020. 48 p.
6. Hruntofreza navisna Bomet (Bomet) 1.4 m. URL: <https://agrotechsvit.com.ua/ua/p1537621625-pochvofreza-navesnaya-bomet.html> [in Ukrainian].
 7. Hrushetskyi S.M. (2009) Innovatsiina kartopliana tekhnika – kompleksne rishennia zadach [Innovative potato technology is a complex solution to problems]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn : Zahalnodержавnyi mizhvid. nauk.-tekhn. zb. Pid zah. red. I.M. Chernovola. Kirovohrad : KNTU. Vyp. 39. P. 68-81* [in Ukrainian].
 8. Didukh V.F., Tarasiuk V.V., & Tarasiuk D.V. (2020). Doslidzhennia sadylnoho aparatu kartopli pasyvnoho typu [Study of the potato planter of the passive type]. *Silskohospodarski mashyny : zb. nauk. st. Lutsk. Vyp. 44. P. 41–50* [in Ukrainian].
 9. Dumych V. (2012). konstruktzii dlia sadinnia kartopli [Analysis of structures for planting potatoes]. *Tekhnika i tekhnologii APK. № 12(39). P. 10–13* [in Ukrainian].
 10. Liashuk V. M., Didukh V. F., Herasymyk-Chernova T. P., & Bartoshyk I. S. (2019). Osoblyvosti formuvannia vrozhaiu kartopli [Features of potato crop formation]. *Silskohospodarski mashyny : zb. nauk. st. Lutsk. Vyp. 42. P. 49–55* [in Ukrainian].
 11. Tomchuk V.V. (2017). Kartoplesadzhalka dlia proroslykh bulb [Potato planter for sprouted tubers]. *Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva. Promyslova hidravlika i pnevmatyka. № 4 (58). P. 54-57* [in Ukrainian].

Bohdan Blashchak, post-graduate; **Andrii Babii**, Prof., DSc.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Justification of Individual Structural and Technological Parameters of the Potato Planting Machine

The purpose of the study is to substantiate the individual structural and technological parameters of the potato planting machine, which is used in the technology of growing potatoes and is intended for work in small farms in a unit with low-power energy sources.

The work proposes a new structural and technological scheme of the potato planting machine. The peculiarity of this construction is that it provides for strip milling along the axis of the formed row, and the formed soil shavings sprinkle potato seeds, which are placed on the formed and compacted planting place. First two pairs of wrappers form a small ridge with fresh soil and a final large ridge with soil from between the rows. During the execution of the study, the choice of the kinematic mode of operation of the milling drums in relation to the thickness of the ground shavings cut by the knives was substantiated, and the choice of the type of wrappers was made.

On the basis of the proposed construction of the potato planting machine, certain effects are observed in the comb method of planting potatoes. A high-quality seed place is formed due to a milled (loosened) strip of soil, along which the coulter moves with minimal resistance and with its lower part, which compacts the bottom, forms an additional small groove in which the seeds are placed. Due to this, the compacted bottom allows moisture to be drawn up from the lower layers of the soil, and its shape – an additional small groove prevents deviation of the tubers from the axis of the row. The next effect is strip milling, which consumes 2 times less energy compared to a separate milling operation during pre-sowing tillage. In addition, the potato seeds are covered with fresh and optimally lumpy soil from the milled strip. It was established that for the milling drum of the potato planter with a diameter of 0.5 m, the optimal rotation frequency is about 265 rpm, the forward speed of the unit is 3.3 km/h (0.92 m/s), and then the maximum chip thickness will be 15 mm. The formation of the comb during seed production involves two stages – the formation of first small and then the final large combs, where passive wedge wrappers are reasonably used.

potato, soil preparation, strip milling, kinematic mode, seed, wrapper, ridge, forward speed, lumpiness, hiller

Одержано (Received) 16.10.2024

Прорецензовано (Reviewed) 21.10.2024

Прийнято до друку (Approved) 28.10.2024