

УДК 631.358.44/45

DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-2

ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ КОРЕНЕБУЛЬБОЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

Грушецький Сергій Миколайович, к.т.н., доцент
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Омельянов Олег Миколайович, асистент
Вінницький національний аграрний університет

Sergiy Hrushetskiy, Ph.D., Associate Professor
Podolsk State University Higher Education Institution
Oleh Omelyanov, assistant
Vinnitsa National Agrarian University

Картопля є однією з найбільш поширених культур в Україні, її виробництвом займається переважна більшість вітчизняних господарств – від населення до великих агрофірм. Причому, близько 95% виробленої картоплі припадає на присадибні господарства, для яких характерні широке використання ручної праці на більшості технологічних операцій збирання та низька механізація процесу збирання загалом.

Збирання залишається найбільш ресурсозатратним процесом у виробництві картоплі, адже на сьогодні, як відомо, частка енерго- та працезатрат процесів збирання складає відповідно 50-60% та 60-70%.

З короткого аналітичного огляду робіт, присвячених дослідженням підкопувально-сепаруючим робочим органам коренебульбозбиральних машин, видно, що до теперішнього часу вже накопичено значний теоретичний та експериментальний матеріал, що розкриває закономірності процесів взаємодії робочих органів різних конструкцій з бульбоносною масою. Однак, незважаючи на це, на сьогодні не вдалося створити досить ефективну, надійну, малоенергоємну, яка задовільнить усім агротехнічним вимогам для коренебульбозбиральних машин і проблема розробки такого пристрою як і раніше залишається актуальною.

Відповідно, метою дослідження було проведення порівняльного аналізу забирати разом з бульбами мінімальну кількість ґрунту і забезпечувати можливість кращого дроблення пласта для полегшення сепарації та основних параметрів при підвищенні експлуатаційної продуктивності, технологічної надійності підкопувально-сепаруючого робочого органу та зниженню його тягового опору.

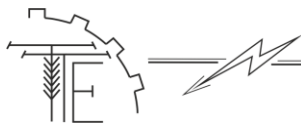
За результатами проведених досліджень розроблено нову роторну коренебульбозбиральну машину, за рахунок запропонованих зубових дисків з різьбленими кромками ґрунтозацепів і зміни форми леміша коренебульбозбиральної машини на циліндроїдальний, а також плоску полицеву поверхню на прутково-сепаруючу, зменшилась подача картопляного вороху на роторний та прутковий сепаруючий пристрій, що забезпечує можливість кращого дроблення пласта та відокремлення бульб від ґрунту прогумованими пальцями ротора для полегшення сепарації на ротаційному сепараторі ґрунту з гумовими пальцевими роторами при підвищенні експлуатаційної продуктивності, технологічної надійності роторної коренебульбозбиральної машини і зниженню її тягового опору, виключає застосування грудкопошкоджуючих пристроїв і зберігає бульби від механічних пошкоджень під час збирання роторною коренебульбозбиральною машиною.

Запропонована схема роторної коренебульбозбиральної машини зменшує подачу ґрунту та відокремлення бульб від ґрунту прогумованими пальцями ротора на роторні сепаруючі робочі органи і покращує сепарацію бульб, за рахунок чого зменшуються їх механічні пошкодження, забезпечується краще зберігання картоплі, зменшується кількість сепаруючих пристроїв, збільшується продуктивність агрегату.

Запропонований у роботі новий ротаційний робочий орган, враховуючи агротехнічні рекомендації, повинен мати заокруглену конструкцію поверхні з високоміцної гуми, з конусоподібними виступами, розміщеними під кутом до вписаної в основу кола. Для досліджень як основні параметри ротора приймемо: його зовнішній діаметр D_p , кут нахилу виступів β , їхню висоту H_b , довжину L_b , радіус заокруглення R_b , висоту вершин b_b та загальну кількість виступів N_b на зовнішньому діаметрі D_p , а також товщину ротора B та параметр посадкового отвору.

Ключові слова: ворох, ґрунт, бульба, картоплезбиральна машина, ротор, сепарація, збирання картоплі.

Ф. 19. Рис. 4. Літ. 15.



1. Вступ

Картопля є однією з найбільш поширених культур в Україні, її виробництвом займається переважна більшість вітчизняних господарств – від населення до крупних агрофірм. Причому, близько 95% виробленої картоплі припадає на присадибні господарства, для яких характерні широке використання ручної праці на більшості технологічних операцій збирання та низька механізація процесу збирання загалом [1].

Збирання залишається найбільш ресурсозатратним процесом у виробництві картоплі, адже на сьогодні, як відомо, частка енерго- та працезатрат процесів збирання складає відповідно 50-60% та 60-70%. [2].

Як свідчать вітчизняні статистичні дані та ФАО, Україна практично щороку потрапляє у п'ятірку світових лідерів з обсягів виробництва картоплі. Однак, такий вагомий результат досягається завдяки традиційно великим значенням показників валового збору, при незначних темпах росту інтенсифікації та механізації процесів виробництва. Враховуючи зростання важливості продовольчої проблеми для світової спільноти та світові тенденції до виробництва екологічно чистої продукції «органічного рослинництва», Україна зможе і надалі утримувати лідируючі позиції на продовольчому ринку з ряду сільськогосподарських культур, і зокрема – картоплі, за умови впровадження високопродуктивних технологій механізованого виробництва, найвагомішими серед яких є технології збирання.

Зважаючи на викладене вище, до важливих наукових та практичних завдань сільськогосподарського виробництва слід віднести дослідження та впровадження перспективних технологій та машин для збирання картоплі.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблемі вирощування та збирання картоплі присвячено чимало друкованих праць. Проблемами картопляної галузі займалися і займаються такі вчені, як Грушецький С.М., Гуцол Т.Д., Булгаков В.М., Смолінський С.В. та ін. [3-15].

Явищем та моделювання процесу сепарації картопляного вороху займався у своїх працях Фірман Ю.П. [6]. Питаннями розробки та обґрунтування параметрів ротаційного картоплекопача займався Бончик В.С. [8].

Останніми дослідженнями слід вважати науковий пошук і обґрунтування конструкції і параметрів спірального сепаратора картопляного вороху та обґрунтування параметрів поздовжніх транспортерів-сепараторів коренезбиральних машин присвячено дослідження Булгакова В.М. Смолінського С.В., Фльонц І.В. та ін. [9-12].

Великим вкладом в теорію сепарації на решетах сипучих матеріалів стали праці д.ф.-м.н. Е.А. Напомнящего, який у ряді своїх праць розглянув математичні основи цього процесу, Г.Д. Петров провів дослідження по визначенню розмірної характеристики ґрунтових грудок, що утворюються при підкопуванні бульбоносного шару [13].

Стратегічні питання з вирощування картоплі в Україні з використанням найсучасніших технологій і техніки, які б мали конкурентоспроможні якісні показники, дослідники у своїх працях, на жаль, оминають аналіз сучасного стану картоплярства в Україні є завжди актуальною проблемою.

3. Мета та завдання дослідження

Забирати разом з бульбами мінімальну кількість ґрунту та забезпечувати можливість кращого дроблення пласта для полегшення сепарації та основних параметрів при підвищенні експлуатаційної продуктивності, технологічної надійності підкопуючо-сепаруючого робочого органу та зниженню його тягового опору.

4. Виклад основного матеріалу

Аналітичні дослідження сепаруючих пристроїв коренебульбозбиральних машин [5], а також інтенсифікаторів, що працюють з ними в комплексі [5] показали функціональні переваги сепараторів ротаційного типу щодо інших конструкцій. Вони мають високу сепаруючу здатність, надійність, невелику питому вагу, низьку енергоємність і ступінь травмування коренебульб, що збираються.

Тому, на підставі результатів раніше проведених ротаційних пошуків сепараторів [5], було запропоновано нову конструкцію роторної коренебульбозбиральної машини.

Поставлена мета по усуненню недоліку досягається тим, що в картоплезбиральну машину вводиться те, що до підкопувача кріпиться частково циліндроїдальний леміш замість плоского. Передня частина циліндроїдального леміша складається із вгнутого корпусу на першому етапі технологічного процесу підкопування у бік картопляного вороху. Це дозволяє шляхом зміни форми леміша зменшити подачу картопляного вороху на сепаруючий пристрій при гребеневій посадці на 25-30 %, при гладкій – на 50-60%. На другому етапі середня частина корпусу полицевої поверхні плоска з прутків у поперечно-

вертикальній площині, а над нею розміщено ротор для відокремлення бульб від ґрунту і подачі їх в бік роторного сепаратора та сепаруючих прутків у поздовжньо-вертикальній площині і на третьому етапі кінцева частина полицевої поверхні випукла із прутків у поперечно-вертикальній площині, що викликає руйнування пласта і часткової сепарації на поздовжньо-вертикальній площині і рівномірного розподілення його на сепаруючій поверхні для полегшення сепарації. По обидві сторони циліндроїдального леміша розміщені вертикально зубчасті диски, на неробочих кромках зубів виконані ґрунтозацепи у вигляді плоского рівнобедреного трикутника бокові сторони якого мають ріжучу кромку з кутом відгину до площини диска в одну і другу сторону перемінно на 90° . В зубчастому диску виконано ряд отворів, центри яких розміщено концентрично осі обертання зубчастого диска, при цьому відстань між зовнішньої кромки зуба диска до осі отвору рівна глибині підкопування картопляного вороху і допустима 140...250 мм. Діаметр отвору у зубчастому диску може бути виконаний у межах 30...37 мм.

Запропонована роторна коренебульбозбиральна машина зображена на рис. 1 – вид збоку при збиранні картоплі: V_M – швидкість машини; ω – колова швидкість; Q_0 – подача загальної кількості вороху до якого входить $r(t_i)$ – кількість дрібних частинок ґрунту в момент часу t , $k(t_i)$ – кількість бульб в момент часу t , $m(t_i)$ – кількість рослинних залишок в момент часу t , $q(t_i)$ – кількість крупних грудок в момент часу t ; α_n – кут нахилу циліндроїдального леміша до горизонту; (рис. 2) – вид зверху роторної коренебульбозбиральної машини: γ – кут скосу ковзання скиби з підкопаним кущем бульб по лезу.

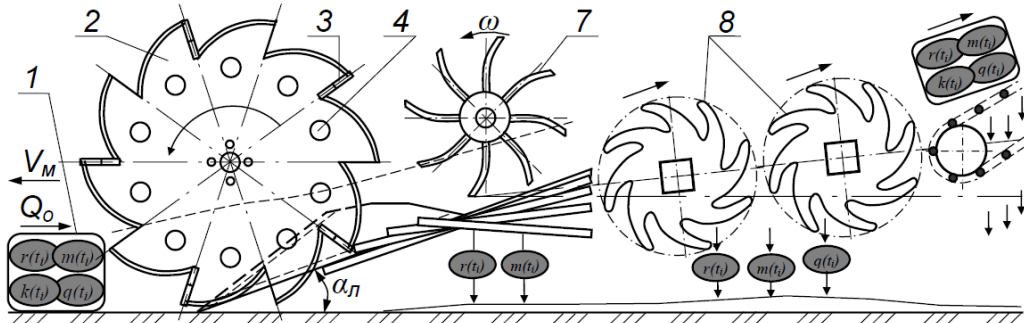


Рис. 1. Технологічна схема роторної коренебульбозбиральної машини (вид збоку при збиранні картоплі).

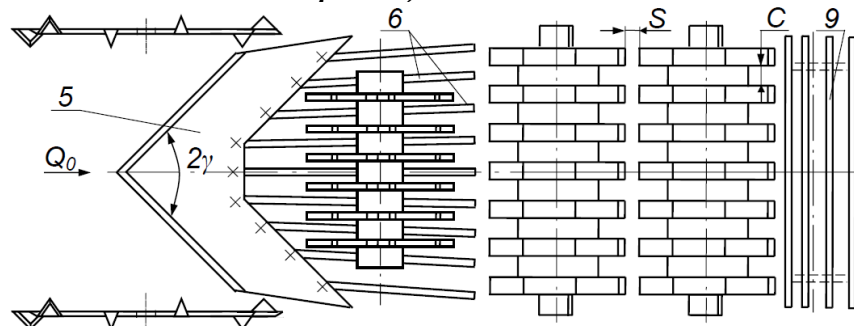
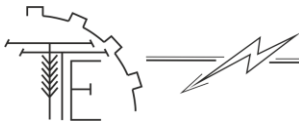


Рис. 2. Технологічна схема роторної коренебульбозбиральної машини (вид зверху).

Технологічна схема процесу підкопування складається з картопляного вороху 1 по обидві сторони якого розміщені два вертикальні зубчасті диски 2 з ґрунтозацепами 3. У диску виконано ряд отворів 4 центри яких розміщено концентрично осі обертання зубчастого диска, при цьому відстань між зовнішньої кромки зуба диска до осі отвору допустима 140...250 мм. Діаметр отвору у зубчастому диску може бути виконаний у межах 30...37 мм. Циліндроїдальний леміш 5 коренебульбозбиральної машини, на якому рухається підкопаний картопляний ворох 1, який після деякої зміни форми і деформації на сепаруючих прутках 6 у поздовжньо-вертикальній площині, а пальці 7 ротора відокремлюють бульби від ґрунту і подають їх на ротаційний сепаратор ґрунту з гумовими пальцевими роторами 8 для зменшення пошкодження бульб під дією крутного моменту через ланцюгову передачу, а далі на прутковий сепаратор 9, де відбувається технологічний процес – сепарація.

Працює роторна коренебульбозбиральна машина таким чином. При переміщенні машини вздовж рядків картопляного поля за рахунок тракторної тяги робочий орган заглиблюється у картопляний ворох, при цьому відбувається підрізання пласта знизу циліндроїдальним лемешем 5. За рахунок поступового руху картоплекопача і зчеплення зубчастих дисків 2 з ґрунтом, які забезпечуються силами тертя на бокові поверхності, безпосередньо ґрунтозацепи 3 повертають диски на своїх осях. При цьому відбувається перерізування рослинних залишок як робочою кромкою зубчастого диска 2, так і ріжучими кромками ґрунтозацепів 3, а також відбувається відрізування картопляного пласта по бокам. За рахунок защемлення



між дисками 2 і циліндроїдальним лемішем 5 коренебульбозбиральної машини подається зменшений пласт вороху 1 по вгнутій передній частині, далі по середній плоскій прутковій 6 поздовжньо-вертикальній площині, а пальці 7 ротора на кінцівках яких використовуються гумові насадки для зменшення пошкодження бульб під дією крутного моменту через ланцюгову передачу відокремлюють бульби від ґрунту і при сході з нього – по випуклій прутково-сепаруючій поверхні у поперечно-вертикальній площині, попадає на ротаційний сепаратор ґрунту з гумовими пальцевими роторами 8 для зменшення пошкодження бульб під дією крутного моменту через ланцюгову передачу, а далі на прутковий 9 сепаруючий робочий орган частково дроблений, відсепарований і рівномірно розподілений для подальшої сепарації.

У конструкції ротаційного сепаратора, на підставі раніше проведених досліджень, запропонували використати від 2 до 3 паралельно розташованих і обертаються в одному напрямку робочі секції. Кожна секція є валом із закріпленими на ньому ротаційними робочими органами. Між роторами запропонували встановити змінні розпірні втулки. Вони забезпечать можливість зміщення роторів вздовж валів для створення сепаруючих зазорів, у тому числі рівних мінімально-допустимого розміру бульб. Таким чином, їхню величину можна встановити підбором ширини втулок у межах від 30 до 50 мм.

При встановленні просвітів C у межах від 35 мм до 50 мм буде забезпечуватиметься підвищення продуктивності сепарації ґрунту, а при зменшенні до 30 мм знижуватимуться втрати картоплі за мінімально товарного розміру. Робочі органи сусідніх секцій запропонували встановлювати один за одним без перекриття виступів сусідніх рядів. За даними досліджень таке компоновання забезпечить можливість зміщення роторів, що виключає зачеплення виступів сусідніх секцій, зміни величини сепаруючих просвітів (рис. 2). В той же час технологічний зазор S між сусідніми секціями дозволить підвищити сепаруючу здатність ротаційного сепаратора в залежності від конкретних ґрунтово-кліматичних умов та мінімального товарного розміру бульб, що збираються.

Проведені раніше дослідження дозволили визначити конструктивні параметри лемеша, зовнішні діаметри пальців ротора $D_n=300$ мм та роторів сепаратора картоплекопача $D_p=300$ мм, а також загальну кількість секцій $N_c = 3$ шт. На наступних етапах теоретичних досліджень провели більше детальне визначення параметрів конструкції робочої поверхні, а також режимів роботи пальців та роторів.

Для визначення раціональних параметрів пальців та ротаційного сепаратора умовно розділимо картоплекопач на три операційні області. В першу (підкопуючо-сепаруючу область) увійдуть леміш разом з пальцями ротора, в другу (зону інтенсивної сепарації ґрунту) перші 3 секції сепаратора, а в третю (зону остаточного очищення картопляного вороху) 3 секції. Робочі процеси в цих областях суттєво відрізнятимуться. Для отримання достовірніших результатів теоретичні обґрунтування їх конструктивних параметрів та режимів роботи проведемо відповідно до технологічної послідовності.

Після визначення якості сепарації картопляного вороху підкопувальними робочими органами картоплезбиральної машини [5, 15] та зовнішнього діаметра ротаційного робочого органу були проведено дослідження з обґрунтування його основних конструктивних параметрів. Запропонований у роботі новий ротаційний робочий орган, враховуючи агротехнічні рекомендації, повинен мати заокруглену конструкцію поверхні з високоміцної гуми, з конусоподібними виступами, розміщеними під кутом до вписаної в основу кола (рис. 3). Для досліджень як основні параметри ротора приймемо: його зовнішній діаметр D_p , кут нахилу виступів β_0 , їхню висоту H_0 , довжину L_0 , радіус заокруглення R_0 , висоту вершин b_0 та загальну кількість виступів N_0 на зовнішньому діаметрі D_p , а також товщину ротора B та параметр посадкового отвору.

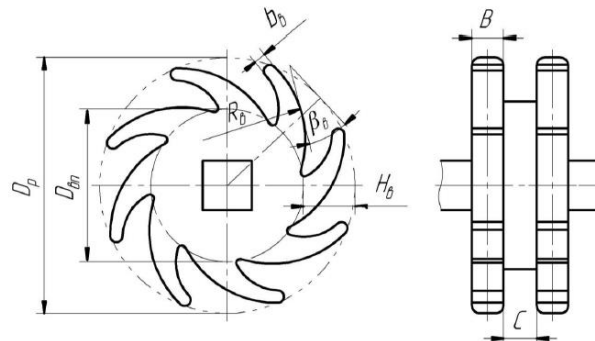
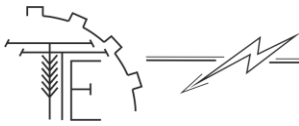


Рис. 3. Ротаційний робочий орган.

У центрі кожного робочого органу конструктивно розташували посадковий отвір квадратного перерізу для установки на вали, що обертаються. За рахунок квадратної форми посадкового місця виключається ймовірність прокручування робочих органів навколо осі валу. Сепаруючий зазор C між сусідніми роторами встановлюється у вигляді розпірних втулок. Кожен вал з встановленими на ньому ротаційними робочими органами та розпірними втулками є окремою робочою секцією.



Установка сусідніх секцій одна щодо одної без перекриття виступів забезпечить можливість зміщення роторів вздовж валів для зміни сепаруючого просвіту $З$ допомогою розпірних втулок. Це дозволить збільшити сепаруючі просвіти та ефективність процесу сепарації, а також забезпечить можливість збирання різної за призначенням картоплі.

Установка рядів без перекриття виступів також усуне взаємне защемлення роторів сусідніх секцій та контактне зношування їх поверхонь. Однак, у даному випадку, між рядами роторів сусідніх секцій утворюється западина. Вона може знизити середню швидкість переміщення компонентів вороху та збільшити ударний вплив на бульби картоплі. Дослідження, проведені вченими, показують, що процес роботи ротаційних сепаруючих пристроїв в основному залежить від кута нахилу сепаратора, форми виступів і окружної швидкості роторів. Тому, за рекомендаціями вчених, для сталого транспортування картопляного вороху та зниження динамічного впливу на бульби приймемо кут нахилу ротаційного сепаратора мінімальним (10°), а зовнішній діаметр робочих органів D_p , на підставі проведених графоаналітичних досліджень, рівним 300 мм. За рахунок невеликого кута нахилу знизиться кількість кінетичної енергії, необхідної для виходу бульби із западини, що у свою чергу призведе до зменшення кількості його зіткнень із поверхнями роторів.

Збільшений зовнішній діаметр ротаційних робочих органів D_p повинен забезпечити їм більш високу окружну швидкість, підвищення інтенсивності сепарації та стійкість транспортування суглинного ґрунту підвищеної вологості. За рекомендаціями для зменшення ймовірності защемлення бульб прийняли округлену форму виступів і кут їх нахилу β_6 проти напрямку обертання.

Обґрунтування більш детальних параметрів конструкції виступів виконали у два етапи. На першому етапі провели аналіз позиційно-силової схеми та на основі рівнянь рівноваги визначили найбільш ефективні: кут нахилу β_6 , висоту H_6 , довжину L_6 та радіус заокруглення R_6 виступів. На другому етапі вираховували висоту вершин виступів b_6 та їх загальну кількість N_6 на прийнятому діаметрі.

Для виконання першого етапу досліджень побудували схему сил, що виникають при взаємодії частини картопляного пласта з поверхнею виступу ротора другої секції (рис. 4).

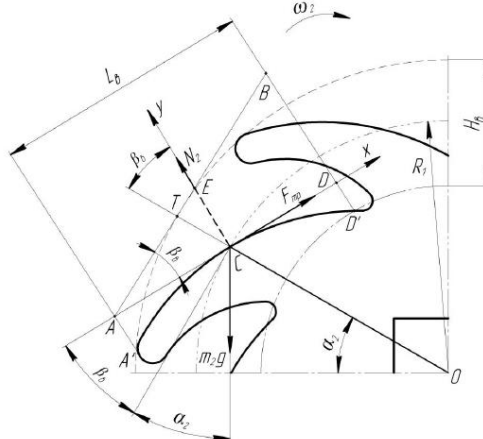


Рис. 4. Сили, що діють на частину картопляного пласта, ротора, що знаходиться на виступі

На даній ділянці сепаратора є велика кількість непросіяного ґрунту, через що збільшується ймовірність звантажування транспортованого картопляного пласта. Тому виступи роторів другої та третьої секцій повинні захоплювати та стійко переміщати його компоненти при куті сходу $\alpha_1 = 36 \dots 42^\circ$ та куті підхвату ротаційними робочими органами наступної секції $\alpha_2(0) = 40 \dots 44^\circ$. Приймавши значення зовнішнього діаметра робочих органів $D_p = 300$ мм знайдемо кут нахилу їх виступів β_6 (рис. 4).

Система рівнянь рівноваги для цього випадку має вигляд:

$$\begin{cases} F_{mp} - m_2 g \cos(\alpha_2 + \beta_6) = 0 \\ N_2 - m_2 g \sin(\alpha_2 + \beta_6) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де N_2 – нормальна сила реакції виступу ротора другої секції, Н.

Виходячи з умови рівноваги, рівняння системи (1) матимуть вигляд:

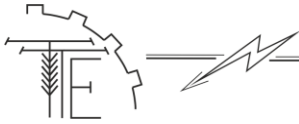
$$\begin{cases} F_{mp} = m_2 g (\cos \alpha_2 \cos \beta_6 - \sin \alpha_2 \sin \beta_6) \\ N_2 = m_2 g (\sin \alpha_2 \cos \beta_6 + \cos \alpha_2 \sin \beta_6). \end{cases} \quad (2)$$

Замінюючи силу тертя F_{mp} на $f_p N_2$ отримаємо рівність:

$$\sin \beta_6 (f_p \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2) = \cos \beta_6 (\cos \alpha_2 - f_p \sin \alpha_2), \quad (3)$$

де f_p – коефіцієнт тертя ковзання бульб по гумі, $f_p = 0,7$.

Потім висловимо з (3) $\tan \beta_6$



$$\operatorname{tg} \beta_B = \frac{\cos \alpha_2 - f_p \sin \alpha_2}{f_p \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2}. \quad (4)$$

З рівняння (4) знаходимо, що найбільш підходяще значення кута нахилу виступів β_B ротаційних робочих органів становить $28,5^\circ$.

Висоту виступів H_B ротаційних робочих органів розрахували за відомою методикою. На підставі певної залежності висоти виступів H_B від їх кута нахилу β_B та зовнішнього діаметра роторів D_p обчислили, що при $\beta_B=28,5^\circ$ та $D_p=300$ мм розрахункове значення висоти виступів $H_B = 62$ мм. Виходячи з цього знайшли діаметр підстави западин виступів $D_{en} = 176$ мм.

Знаючи висоту H_B та кут нахилу β_B виступів можна знайти їх довжину L_B . Для цього визначимо довжину середньої лінії CE трикутника ABD (рис. 4)

$$CT = \frac{H_B}{2 \cos \beta_B}. \quad (5)$$

Виходячи з цього, довжина основи DB :

$$DB = \frac{H_B}{\cos \beta_B}. \quad (6)$$

Тоді гіпотенуза AB дорівнюватиме:

$$AB = \frac{H_B}{\cos \beta_B \sin \beta_B}. \quad (7)$$

Довжина виступів L_B ротаційного робочого органу:

$$L_B = \frac{H_B}{\sin \beta_B}. \quad (8)$$

Підставляючи рівняння (8) $H_B=62$ мм і $\beta_B=28,5^\circ$ отримуємо, що раціональне значення довжини виступів L_B ротаційного робочого органу складає 130 мм.

На основі отриманих конструктивних параметрів ротора за допомогою геометричних побудов визначимо радіус заокруглення виступів R_B . Для цього з точок A та D трикутника ABD опустимо перпендикуляри AA' та DD' до перетину відповідно із зовнішнім діаметром ротора D_p і діаметром западин D_{en} (рис. 4). Через точки $A'CD'$, що виходять, можна провести коло з радіусом 120 мм. Тому найбільш раціональне значення радіусу заокруглення виступів $R_B = 120$ мм.

Для визначення висоти вершин виступів b_B складемо диференціальне рівняння для вигнутої осі балки

$$E_p I_B S_B'' = M_y, \quad (9)$$

де E_p – модуль пружності матеріалу ротора, МПа; I_B – момент інерції перерізу виступу ротора, м^4 ; S_B – величина прогину виступу ротора, м; M_y – згинальний момент, Нм.

Момент інерції перерізу виступу дорівнює:

$$I_B = \frac{b_B B^3}{12}, \quad (10)$$

де B – ширина виступу ротора, м.

Згинальний момент у переріз виступу:

$$M_y = -F_y x_B. \quad (11)$$

Підставимо (11) до рівняння (9):

$$E_p I_B S_B'' = -F_y x_B. \quad (12)$$

Проінтегруємо отриманий вираз:

$$E_p I_B \gamma_B' = -\frac{F_y x_B^2}{2} + C_1. \quad (13)$$

Проінтегруємо вдруге:

$$E_p I_B S_B = -\frac{F_y x_B^3}{6} + C_1 x_B + C_2. \quad (14)$$

Коефіцієнти C_1 та C_2 знайдемо з наступних умов:

а) за $x_B = L_B$, $S_B = 0$; б) при $x_B = L_B$, $\gamma_B = S_B' = 0$.

З першої та другої умов отримали:

$$C_1 = \frac{F_y x_B^2}{2}. \quad (15)$$

$$C_2 = -\frac{F_y L_B^3}{3}. \quad (16)$$

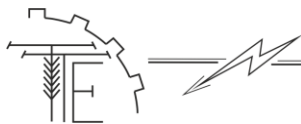
Видно, що $S_{B\max}$ та $\gamma_{B\max}$ будуть лише у разі, коли $x_B = 0$. Виходячи із цього

$$S_B' = \gamma_B = \frac{F_y L_B^2}{2 E_p I_B}. \quad (17)$$

$$S_B = -\frac{F_y L_B^3}{3 E_p I_B}. \quad (18)$$

Застосовуючи до рівняння (18) третій закон Ньютона знайшли N_{cp}

$$N_{cp} = \frac{3 E_p I_B S_B}{L_B^3}. \quad (19)$$



Згідно з раніше проведеними дослідженнями раціональна товщина роторів B знаходиться в межах від 20 мм до 30 мм, а максимальна деформація виступу S_6 при навантаженнях N_{cp} до 1300 Н/м² має перевищувати 2...3 мм. Для розрахунків попередньо набули середні значення товщини роторів $B=25$ мм та деформації виступу $S_6=2,5$ мм. Виходячи з цього, за формулами (10) і (19) визначили, що раціональна висота вершин виступів b_6 повинна дорівнювати 15 мм. На основі отриманих конструктивних параметрів виступів ротора було визначено, що у зовнішньому діаметрі ротора $D_p=300$ мм можна розмістити кілька виступів N_6 . За допомогою геометричних побудов виявили їхню раціональну кількість $N_6=8$ шт. (рис. 3).

Для визначення раціональної товщини роторів B та для забезпечення високої ефективності сепарації ґрунту необхідно провести дослідження пружної стійкості виступів роторів при їх взаємодії з картопляним борохом.

5. Висновки

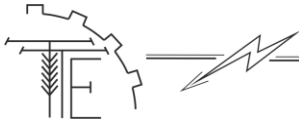
Таким чином, за рахунок запропонованих зубових дисків з ріжучими кромками ґрунтозацепів і зміни форми леміша коренебульбозбиральної машини на циліндроїдальний, а також плоску полицеву поверхню на прутково-сепаруючу, зменшиться подача картопляного бороху на роторний та прутковий сепаруючий пристрій, що забезпечує можливість кращого дроблення пласта та відокремлення бульб від ґрунту прогумованими пальцями ротора для полегшення сепарації на ротаційному сепараторі ґрунту з гумовими пальцевими роторами при підвищенні експлуатаційної продуктивності, технологічної надійності роторної коренебульбозбиральної машини і зниженню її тягового опору, виключає застосування грудкопошкоджуючих пристроїв і зберігає бульби від механічних пошкоджень під час збирання роторною коренебульбозбиральною машиною.

Запропонована схема роторної коренебульбозбиральної машини зменшує подачу ґрунту та відокремлення бульб від ґрунту прогумованими пальцями ротора на роторні сепаруючі робочі органи і покращує сепарацію бульб, за рахунок чого зменшуються їх механічні пошкодження, забезпечується краще зберігання картоплі, зменшується кількість сепаруючих пристроїв, збільшується продуктивність агрегату.

В результаті проведених теоретичних досліджень було визначено основні конструктивні параметри ротаційних робочих органів: кут нахилу виступів $\beta_6=28,5^\circ$, їх висота $H_6=62$ мм, довжина $L_6=130$ мм, радіус заокруглення $R_6=120$ мм та висота вершин $b_6=15$ мм, а також загальна кількість виступів на одному роторі $N_6=8$ шт.

Список використаних джерел

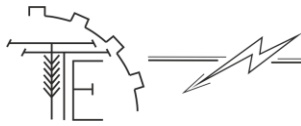
1. Hrushetsky S. M., Yaropud V. M., Duganets V. I., Duganets V. I., Pryshliak V. L., Kurylo V. M. Research of constructive and regulatory parameters of the assembly working organs for the potato's harvesting machines. *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 59. № 3. pp. 101–110. DOI: 10.35633/INMATEH-59-11. <http://repository.vsau.org/card.php?lang=en&id=23148>.
2. Hrushetskyi S., Yaropud V., Kupchuk I., Semenyshena R. The heap parts movement on the share-board surface of the potato. *Harvesting machine bulletin of the Transilvania university of Braşov series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering* Vol. 14(63) №. 1. 2021. S. 127–140. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.1.122>.
3. Грушецький С. М., Рудь А. В., Семенишина І. В., Медведєв Є. П. The technological process pattern of potato root harvester. *Журнал «Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка»*. № 31. Кам'янець-Подільський. 2019. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2019-2-7>.
4. Грушецький С. Н. Модель технологических процессов картофелеуборочных машин. *Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Международной научно-практической конференции (24-25 октября 2019 года)*. В 2 ч.. Минск : БГАТУ. 2019. Ч. 1. С. 125–127; ил., схемы. ISBN 978-985-25-0009-8 (ч. 1). <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/8670/1/27.pdf>.
5. Грушецький С. М., Підлісний В. В. Аналіз конструкцій та результати досліджень сепараторів картопляного бороху. *Сучасний рух науки: тези доп. VI міжнародної науково-практичної інтернет-конференції журналу «WayScience»*. 4-5 квітня 2019 р. Дніпро, 2019. С. 274–282. http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/13556/1/kostuyk_3-1.pdf.
6. Фирман Ю. П., Грушецький С. Н. Кинематический анализ работы динамического ленточного сепаратора. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 17. № 1. P. 11–16. file:///C:/Users/admin/AppData/Local/Temp/11-16-1.pdf.
7. Hutsol Taras, Firman Jurii, Komarnitsky Sergiy. Modelling of the separation process of the potato stack. *Agricultural Engineering : czasopismo. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej*. 2017. Vol. 21, № 4. P. 27–35.
8. Бончик В. С., Федирко П. П. Результаты экспериментальных исследований геометрических параметров картофельной грядки при работе картофелеуборочных машин. *MOTROL. Commission of*



- Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 17. № 5. pp. 3–6.
9. Bulgakov V., Nikolaenko S., Adamchuk V., Z. and 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. <https://doi.org/10.15159/AR.18.037>.
 10. Булгаков В. М., Пилипака С. Ф., Захарова Т. Н., Калетнік Г. М., Яропуд В. М. Плоскі вертикальні криві, які забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях»*. ВНАУ. 2014 р. Вип. 1 (73). С. 5–12.
 11. Aliev E., Bandura V., Pryshliak V., Yaropud V., Trukhanska O.. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural. *INMATEH - Agricultural Engineering*. vol. 54, no.1. 2018. P. 95–104.
 12. Pascuzzi S., Bulgakov V., Santoro F., Sotirios A., Anifantis, Olt J., Nikolaenko S. Theoretical study on sieving of potato heap elements in spiral separator. *Agronomy Research*. 2019. 17(1), P. 33–48. DOI: 10.15159/AR.19.073. <https://doi.org/10.15159/AR.19.073>.
 13. Петров Г. Д. Картофелеуборочные машины. Машиностроение. 1984. 320 с.
 14. Hrushetskiy S. N., Korchak N. N., Zaharevich T. S. Analysis of separation and transportation mechanisms for root potato harvesters. *Engineering of nature management*. 2021. 4(22), pp. 63–72.
 15. Грушецький С. М., Яропуд В. М., Бабін І. А. Дослідження якості сепарації картопляного вороху підкопувальними робочими органами картоплезбиральної машини. *Журнал «Вібрації в техніці та технологіях»*. 2020. № 1 (96). С. 125–140. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2020-1-14>.

References

- [1] Hrushetskiy, 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, 101-110. [in English].
- [2] Hrushetskiy, S., Yaropud, V., Kupchuk, I., Semenyshena, R. (2021). The heap parts movement on the share-board surface of the potato. *Harvesting machine bulletin of the Transilvania university of Braşov series II. Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*. Vol. 14(63), 1, 127-140. [in English].
- [3] Hrushetskiy, S.M., Rud, A.V., Semenyshyna, I.V., Medvedev, YE.P. (2019). The technological process pattern of potato root harvester [The technological process pattern of potato root harvester]. *Zhurnal «Podil's'kyi visnyk: sil's'ke hospodarstvo, tekhnika, ekonomika»*, 31. Kam'yanets'-Podil's'kyi, 52-62. [in English].
- [4] Hrushetskiy, S.N. (2019). Model' tekhnolohycheskykh protsessov kartofeleuborochnykh mashyn [Model of technological processes of potato harvesting machines]. *Tekhnicheskoe y kadrovoe obespechenye ynnovatsyonnykh tekhnolohyy v sel'skom khozyaystve: materyaly Mezhdunarodnoy nauchno-praktycheskoy konferentsyy*, V 2 ch. Mynsk, BHATU, 1, 125-127.
- [5] Hrushetskiy, S.M., Pidlisnyy, V.V. (2019). Analiz konstruktsiy ta rezul'taty doslidzhen' separatoriv kartoplyanoho vorokhu [Analysis of designs and research results of potato pile separators]. *Suchasnyy rukh nauky: tezy dop. VI mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi internet-konferentsiyi zhurnalu «WayScience»*. Dnipro, 274-282. [in Ukrainian].
- [6] Fyrman, YU.P., Hrushetskiy, S.N. (2015). Kynematycheskyy analiz raboty dynamycheskoho lentochnoho separatora [Kinematic analysis of the operation of a dynamic belt separator]. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Vol. 17, 1, 11-16.
- [7] Hutsol, Taras, Firman, Yuri, Komarnitsky, Sergiy. (2017). Modelling of the separation process of the potato stack. *Agricultural Engineering : czasopismo. Polskie Towarzystwo Inzynierii Rolniczej*. Vol. 21, 4, 27-35. [in English].
- [8] Bonchik, V.S., Fedirko, P.P. (2015). Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy geometricheskikh parametrov kartofel'noy gryadki pri rabote kartofeleuborochnykh mashin [The results of experimental studies of the geometric parameters of the potato beds during the work of potato harvesters]. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Vol. 17, 5, 3-6.
- [9] Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Adamchuk, V., Z. and Olt J. (2018). Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor. *Agronomy Research*. 16(1), 52-63. [in English].
- [10] Bulhakov, V.M., Pylypaka, S.F., Zakharova, T.N., Kaletnik, H.M., Yaropud, V.M. (2014). Ploski vertykal'ni kryvi, yaki zabezpechuyut' postyini tysk i shvydkist' rukhu material'noyi tochky [Flat vertical curves that provide constant pressure and velocity of material point]. *Vseukrayins'kyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh»*. VNAU. Vyp. 1 (73), 5-12. [in Ukrainian].
- [11] Aliev, E., Bandura, V., Pryshliak, V., Yaropud, V., Trukhanska, O. (2018). Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural [Modeling of mechanical and technological processes of agricultural]. *INMATEH - Agricultural Engineering*. vol. 54, 1, 95-104. [in English].
- [12] Pascuzzi, S., Bulgakov, V., Santoro, F., Sotirios, A., Anifantis, Olt J., Nikolaenko, S. (2019). Theoretical study on sieving of potato heap elements in spiral separator. *Agronomy Research*. 17(1), 33-48. [in English].
- [13] Petrov, G.D. (1984). Kartofeleuborochnyye mashyny [Potato harvesting machines]. *Engineering*.



- [14] Hrushetskiy, S.N., Korchak, N.N. and Zaharevich, T.S. (2021). 'Analysis of separation and transportation mechanisms for root potato harvesters', *Engineering of nature management*, (4(22), pp. 63-72. [in Ukrainian].
- [15] Hrushetskiy, S.M., Yaropud, V.M., Babyn, I.A. (2020). Doslidzhennia yakosti separatsii kartopljanoho vorokhu pidkopuval'nymy robochymy orhanamy kartoplezbyral'noi mashyny [Investigation of the quality of potato heap separation by digging working bodies of a potato harvester]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*, 1(96). Vinnytsia, 125-140. [in Ukrainian].

JUSTIFICATION OF THE MAIN DESIGN PARAMETERS OF THE ROTARY WORKING BODY OF ROOT HARVEST MACHINES

Potato is one of the most common crops in Ukraine, most domestic farms are engaged in its production - from the population to large agricultural firms. Moreover, about 95% of the potato produced falls on household plots, which are characterized by the widespread use of manual labor in most technological harvesting operations and low mechanization of the harvesting process as a whole.

Harvesting remains the most resource-intensive process in potato production, because today, as you know, the share of energy and labor costs of harvesting processes is 50-60% and 60-70%, respectively.

From a brief analytical review of the works devoted to the study of under-digging-separating working bodies of root-tuber harvesters, it can be seen that by now significant theoretical and experimental material has already been accumulated, revealing the patterns of interaction processes of working bodies of various designs with tuberous mass. However, despite this, to date, it has not been possible to create a sufficiently efficient, reliable, low-energy, which will satisfy all agrotechnical requirements for root and tuber harvesters, and the problem of developing such a device is still relevant.

Accordingly, the purpose of the study was to conduct a comparative analysis to take the minimum amount of soil together with tubers and provide the possibility of better crushing of the reservoir to facilitate separation and basic parameters while increasing operational productivity, technological reliability of the digging working body and reducing its traction resistance.

Based on the results of the research, a new rotary root and tuber harvester has been developed, due to the proposed tooth discs with cutting edges of the lugs and changing the shape of the plowshare of the root and tuber harvester to cylindric, as well as a flat moldboard surface to a rod-separating device, which provides the possibility of better crushing the layer and separating the tubers from the soil rubberized rotor tines for easier separation on the rotary soil separator with rubber tines during harvesting with a rotary root harvester.

The proposed scheme of a rotary root and tuber harvester reduces the supply of soil and the separation of tubers from the soil by rubberized rotor fingers to rotary separating working bodies and improves the separation of tubers, thereby reducing their mechanical damage, providing better storage of potatoes, reducing the number of separating devices, and increasing the productivity of the unit.

The new rotary working body proposed in the work, taking into account agrotechnical recommendations, should have a rounded surface structure made of high-strength rubber, with cone-shaped protrusions placed at an angle to the circle inscribed in the base. For research, as the main parameters of the rotor, we take its outer diameter D_p , the angle of inclination of the protrusions β_s , their height H_s , length L_s , the radius of curvature R_s , the height of the vertices b_s and the total number of protrusions N_s on the outer diameter D_p , as well as the thickness of the rotor B and the landing parameter. holes.

Key words: heap, soil, tuber, potato harvester, rotor, separation, potato harvesting.

F. 19. Fig. 4. Ref. 15.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Грушецький Сергій Миколайович - кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії і системотехніки Закладу вищої освіти «Подільського державного університету» (вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32316, e-mail: g.sergiy.1969@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6434-1213>).

Омельянов Олег Миколайович – асистент кафедри «Загальнотехнічних дисциплін та охорони праці» Вінницького національного аграрного університету. (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: omomelyanov@gmail.com, , <https://orcid.org/0000-0003-3819-5336>).

Sergiy Hrushetskiy - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agroengineering and System Engineering Podolsk State University Higher Education Institution (St. Shevchenko, 13, Kamianets-Podilsky, Khmelnytsky region, 32316, e-mail: g.sergiy.1969@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6434-1213>).

Oleh Omelyanov – assistant of the department of general technical disciplines and occupational safety, Vinnytsia National Agrarian University (3 Solnechnaya St, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: omomelyanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3819-5336>).