

**Грушецький С. М.**

к.т.н., доцент

*Подільський державний
аграрно-технічний
університет***Яропуд В. М.**

к.т.н., доцент

Бабин І. А.

асистент

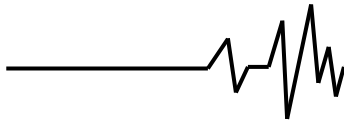
*Вінницький національний
аграрний університет***Hrushetskiy S.***State Agrarian and
Engineering University in
Podilia***Yaropud V.****Babyn I.***Vinnitsia National Agrarian
University***УДК 631.358.44****DOI: 10.37128/2306-8744-2020-1-14**

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ ПІДКОПУВАЛЬНИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

З короткого аналітичного огляду робіт, присвячених дослідженням підкопувальних робочих органів картоплезбиральних машин, видно, що до теперішнього часу вже накопичено значний теоретичний і експериментальний матеріал, що розкриває закономірності процесів взаємодії робочих органів різних конструкцій з бульбоносною масою. Однак, незважаючи на це, на сьогодні не вдалося створити досить ефективний, надійний, малоенергоємний, який задовольнить усім агротехнічним вимогам підкопувальний пристрій для картоплезбиральних машин і проблема розробки такого пристрою як і раніше залишається актуальною.

З огляду на актуальність питань, пов'язаних з розробкою підкопувальних робочих органів при створенні надійних високопродуктивних картоплезбиральних машин відносно малий енергоємності, в даній роботі поставлена мета - систематизація й узагальнення дослідження щодо сучасних технологій вирощування і збирання картоплі та створення нової конструкції підкопувального робочого органу який би забирав разом з бульбами мінімальну кількість ґрунту і забезпечував можливість кращого дроблення пласта для полегшення сепарації при підвищенні експлуатаційної продуктивності, технологічної надійності підкопувального робочого органу і зниженню його тягового опору.

За результатами проведених досліджень розроблено новий комбінований підкопувальний робочий орган, який містить пасивний леміш і відрізні диски з ґрунтозачепами та забезпечує роботу на високих швидкостях. Використання нових підкопувальних робочих органів дозволить підвищити чистоту сходів бороху на 30,8% в порівнянні з базовим варіантом. Доведено, що встановлення в підкопувальній частині дисків з ґрунтозачепами на бічній поверхні дозволяє в порівнянні з базовим варіантом суттєво покращити кришення пласта. В результаті проведених порівняльних випробувань експериментальних картоплекопачів, оснащених розробленою підкопувальною частиною, з серійним картоплекопачем підтверджують, що її застосування дає позитивні результати. Встановлено, що використання відрізнних дискових елементів у підкопувальній частині значно знижує тяговий опір експериментального підкопувального робочого органу у порівнянні з базовим варіантом їх роботи, покращує кришення бульбоносного



пласта та дозволяє збільшити чистоту сходів вороху. Дослідження зносу розроблених зубчатих дисків за період досліджень показав, що за відсутності виробничого браку термін експлуатації дисків буде нарівні терміну експлуатації картоплезбиральної машини.

Ключові слова: картопля, бульба картоплі, підкопувальний робочий орган, картоплезбиральна машина.

Постановка проблеми. Картопля - один з найважливіших продуктів харчування, основна сировина для спиртової та крохмале-патокової промисловості, гарний корм для сільськогосподарських тварин. Картоплю здавна називають другим хлібом.

Якість роботи картоплезбиральних комбайнів оцінюється, перш за все, ушкодженнями бульб, втратами їх у ґрунті і наявністю грудок у бункері комбайна. При цьому пошкодження бульб не повинно перевищувати 12%, а їх втрати - не більше 3%. Однак, за якістю роботи сучасні картоплезбиральні комбайни не відповідають вимогам агротехніки і мають низьку продуктивність [1].

Численні літературні джерела свідчать про те, що на якісні показники роботи картоплезбиральних комбайнів значний вплив мають: строки збирання, сорт картоплі, стан ґрунту під час збирання, погодні умови і т.п.

При збиранні картоплі картоплезбиральними машинами ступінь пошкодження бульб значною мірою залежить від строків збирання. У початковий період збирання картоплі комбайнами пошкодження бульб складає 50,8%, а в період масового збирання цей показник знижується до 29,3% [1].

Результати досліджень показують [2], що в центральних областях з 20 по 29 серпня при зеленому бадиллі, пошкодження бульб картоплі становить 21,9...27%, а в деякі роки доходило навіть до 48,3%. У першій половині вересня, незважаючи на зелене бадилля, пошкодження бульб знижується до 19,5...21%, а при напівсухому бадиллі - до 14...19,5%. З 9 по 15 вересня при відмерлому бадиллі пошкодження знижується до 6,5...10%. За результатами випробувань встановлено, що мінімальні пошкодження бульб досягаються в третій декаді вересня і на початку жовтня.

Однак середній сезонний виробіток картоплезбиральних машин становить всього 30 га [1]. Тому збирати картоплю своєчасно в оптимальний проміжок часу наявними парком картоплезбиральних машин неможливо.

На якісні показники роботи картоплезбиральних комбайнів істотно впливає також властивість ґрунту. Існуючі картоплезбиральні комбайни задовільно працюють на незасмічених легких супіщаних і

суглинних ґрунтах при оптимальній вологості ґрунту. Однак треба зазначити, що із загальної площі, яка зайнята під картоплю, тільки 55,7% складають легкі ґрунти: важкі глинисті і суглинні ґрунту становлять 27,2%, важкі перезволожені ґрунти - 3,4%, кам'яністі - 5,7%. Неоднорідність властивостей ґрунту призводить до суттєвих змін якісних показників картоплезбиральних машин.

Відомо, що чим важче ґрунт за механічним складом, тим скрутніше робота картоплезбиральних машин особливо в умовах зниженої та підвищеної вологості. Знижена вологість глинистих ґрунтів сприяє утворенню твердих ґрунтових грудок, відділення яких від бульб є досі проблемним питанням. Підвищена вологість цих ґрунтів призводить до згортання бульбоносної маси перед лемішем і до зниження сепарації ґрунту, оскільки сепарувальні робочі органи картоплезбиральних машин схильні до залипання.

Залежно від ґрунтово-кліматичних умов роботи, маса міцних грудок і каменів перевищує масу бульб, що надходять в комбайн, в 2 рази. Необхідність відокремлення цих домішок вимагає наявності на картоплезбиральному комбайні 4...6 робочих перебиральників.

Численні способи відокремлення грудок сепарувальними робочими органами, коли основна маса ґрунту відсіяна, призводять до значних пошкоджень бульб [2]. Очевидно, що ці грудки без попереднього руйнування до надходження на сепарувальні робочі органи неможливо відокремити на елеваторі. Необхідність руйнування картопляного рядка на початку технологічного процесу пояснюється тим, що бульби складають не більше 2...3% від загальної маси, що надходить до картоплезбиральної машини. Дослідженнями встановлено, що шар ґрунту товщиною 10...30 мм повністю оберігає бульби від сильних механічних пошкоджень.

Підкопувальні робочі органи повинні забирати бульбоносний пласт без згортання і втрат бульб і до подачі маси на сепарувальні робочі органи підкопаний пласт повинен бути так розпушений, щоб ґрунт легко проходив крізь зазори сепарувальних робочих органів.

Як відомо, в процесі роботи картоплезбиральних машин часто



спостерігається згортання бульбоносної маси перед лемішем. Це явище в основному відбувається при роботі картоплезбиральних машин на ґрунтах підвищеної вологості і високих робочих швидкостях. Згортання бульбоносної маси перед лемішем призводить до значних втрат бульб. Крім того, згортання маси перед лемішем призводить до нерівномірної її подачі на сепарувальні робочі органи, в результаті чого погіршується якість їх роботи.

За характером впливу на бульбоносний пласт усі підкопувальні робочі органи картоплезбиральних машин поділяють на пасивні, активні і комбіновані [2].

Пасивні леміші, завдяки простоті конструкції, знайшли широке застосування. Основним недоліком пасивних лемешів є згортання маси, що призводить до різкого збільшення тягового опору і втрат бульб.

Активні леміші, на відміну від пасивних, частково усувають згортання ґрунту, сприяють зниженню тягового опору машини, але значно посилюють її вібрації, що негативно впливає на роботу і здоров'я обслуговуючого персоналу, а також надійність деталей і вузлів машини.

Комбіновані підкопувальні робочі органи представляють собою поєднання різних пасивних і активних лемешів з додатковими пристроями, які сприяють руйнуванню ґрунтового шару, його подачі без згортання на сепарувальні робочі органи. Найчастіше в якості комбінованого робочого органу використовується пасивний леміш в поєднанні з активними боковинами.

Незважаючи на різноманітність конструкцій існуючих підкопувальних робочих органів, всі вони при роботі на важких ґрунтах і на підвищених швидкостях згортають масу, що призводить до частих зупинок картоплезбиральних машин і до зниження їх продуктивності.

Постає проблема удосконалення існуючих та винайдення нових перспективних технологій і робочих органів картоплезбиральної техніки, обґрунтування оптимальних режимів їх роботи і, в кінцевому результаті, забезпечення цієї галузі рослинництва сучасною, високопродуктивною і надійною збиральною технікою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі вирощування та збирання картоплі присвячено чимало друкованих праць. Підвищення технологічного рівня сучасних коренебульбозбиральних машин, критеріями оцінки яких є співвідношення втрат, забрудненості та пошкоджень бульб до їх зібраної маси, залишається науково-актуальною проблемою у плані подальшого розвитку вітчизняної техніки

для збирання бульб.

Аналіз еволюції розвитку конструктивно-компонувальних і технологічних схем коренебульбозбиральної техніки свідчить, що на сучасному етапі для їх збирання все більше застосовуються потужні самохідні бункерні комбайни, якими щорічно збирається до 70% світових площ [2, 3].

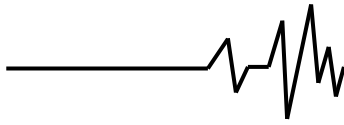
Подальше поглиблення та розвиток загальної концепції раціональних обрисів сучасних машин можливе на основі аналізу світового досвіду поетапного удосконалення процесу збирання коренебульбоплодів, або на основі більш детального аналізу функціонування робочих органів основних транспортно-технологічних систем для викопування та очищення коренебульбоплодів [3].

Ефективність збирання коренебульбоплодів у значній мірі залежить від конструктивно-компонувальної схеми та якості роботи очисників вороху, які повинні відокремити із складу викопаного вороху не менше 92% домішок за вихідними вимогами до коренебульбозбиральних машин, дотримуючись при цьому допустимих значень втрат і пошкодження коренебульбоплодів [4].

Значне варіювання умов роботи коренебульбозбиральних машин і недостатнє пристосування існуючих конструкцій викопувальних і особливо очисних робочих органів до цих змін умов роботи не дозволяють отримувати стійких агротехнічних показників, особливо за сухого і вологого ґрунту, забур'яненості поля тощо. При збільшенні вологості ґрунту до 22-28% якість роботи машин погіршується в 2-6 рази, а на сухих твердих ґрунтах спостерігається значне (до 20-40%) забруднення вороху коренебульбоплодів грудками землі [5]. Тому під час збирання коренебульбоплодів картоплі в таких умовах, виникає потреба в ручному очищенні вороху коренебульбоплодів.

Незважаючи на доволі складні транспортно-технологічні системи робочих органів для очищення вороху коренебульбоплодів, після очищення енергоємними багатоступеневими системами очищення викопаного вороху від домішок з полів вивозиться кількість родючого ґрунту, яка еквівалентна 10...15 см орного шару на площі збирання рівній 100 га, незважаючи при цьому, що загальна протяжність очисних поверхонь сягає 8...10 м [6].

Відомі результати наукових досліджень, які наведено в працях [2, 7-11], як правило характеризують тільки основні принципи функціонування викопувально-сепарувальних робочих органів без критеріального аналізу загальних аспектів та шляхів підвищення їх



показників якості роботи та коренебульбозбиральних машин загалом.

Стратегічні питання по вирощуванню картоплі в Україні із використанням найсучаснішої техніки і технологій, яка б мала конкурентоспроможні якісні показники, дослідники у своїх працях, на жаль, оминають. Тому, розуміння сучасного стану в галузі картоплярства є завжди актуальною проблемою.

Мета досліджень. Метою роботи є систематизація й узагальнення дослідження щодо сучасних технологій вирощування і збирання картоплі та створення нової конструкції підкопувального робочого органу який би забирав разом з бульбами мінімальну кількість ґрунту і забезпечував можливість кращого дроблення пласта для полегшення сепарації при підвищенні експлуатаційної продуктивності, технологічної надійності підкопувального робочого органу і зниженню його тягового опору.

Результати досліджень. Відомі підкопувальні робочі органи залежно від характеру дії на картопляний шар діляться на пасивні, активні і комбіновані [12], залежно від форми – на плоскі, секційні і циліндричні, а також форма вгнутої передньої частини аналогічна формі гнізда коренебульбоплодів, циліндроїдальна поверхня плоска, задня частина – випукла [13].

Недоліком згаданого підкопувального робочого органу є те, що при використанні циліндроїдального леміша на сепарувальний прутковий елеватор подається частково пласт бульбоносної маси і проходить розвалювання ґрунту з частиною бульб по сторонах на спušених не зв'язних ґрунтах, що погіршує повне просіювання грудок ґрунту і призводить до неефективного використання збиральної машини, зниження технологічної надійності процесу підкопування, збільшення тягового опору при агрегуванні коренебульбозбиральної машини і її продуктивності.

Технічний результат залежить від зниження затрат часу на зупинку збирального агрегату і чистку підкопувального робочого органу від рослинних залишок, а також у зниженні енергозатрат на підкопування

картопляного вороху.

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 сепарувальний 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 і сепарувальних 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 сепарувальній 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 перемино 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.

На рис. 1 зображено зону розміщення бульб: B_{ep} – ширина грядки, B – ширина захвату передньої підкопувальної частини лемішу дорівнює ширині гнізда b_{en} розміщення бульб із врахуванням поперечних відхилень рядка від осьової лінії 2δ ; h_k – глибина копання; h – глибина залягання крайніх по глибині бульб. Ширина кінцевої частини леміша коренебульбозбиральної машини дорівнює ширині сепарувальної частини.

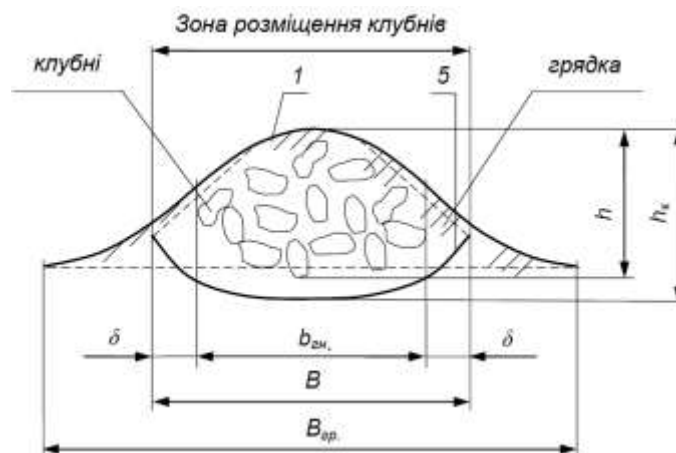
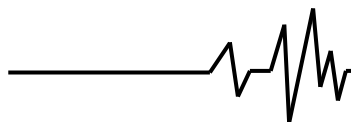


Рис. 1. Зона розміщення бульб

Запропонований підкопувальний робочий орган для коренебульбозбиральних машин зображено на рис. 2 [14, 15] – вид збоку при збиранні картоплі: V_m – швидкість машини; 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. 3 – вид зверху циліндроїдального леміша: γ – кут скосу ковзання скиби з підкопаним кущем бульб по лезу; рис. 4 – вид леміша в розрізі А-А, Б-Б, В-В і Г-Г – рис. 3; рис. 4 – вид Д зверху плоского рівнобедреного трикутника – рис. 2.

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 сепарувальних прутках 6 у поздовжньо-вертикальній площині попадає на сепаратор 7, після чого відбувається наступний технологічний процес – сепарація.

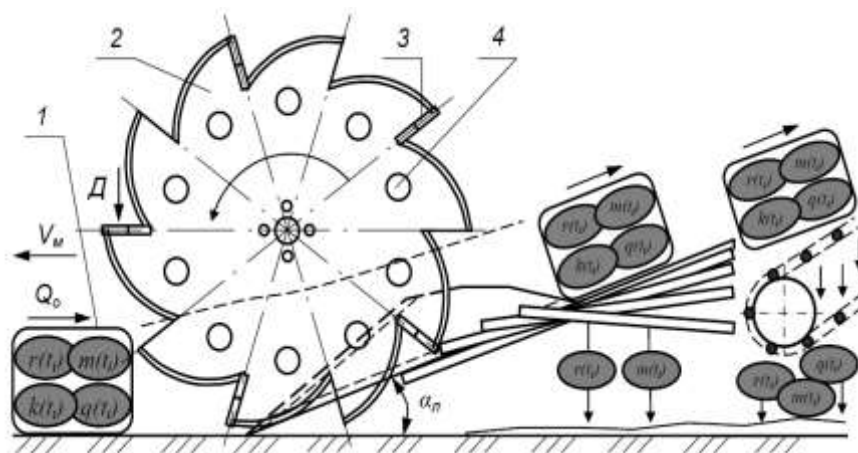


Рис. 2. Робочий орган для коренебульбозбиральних машин (вид збоку)

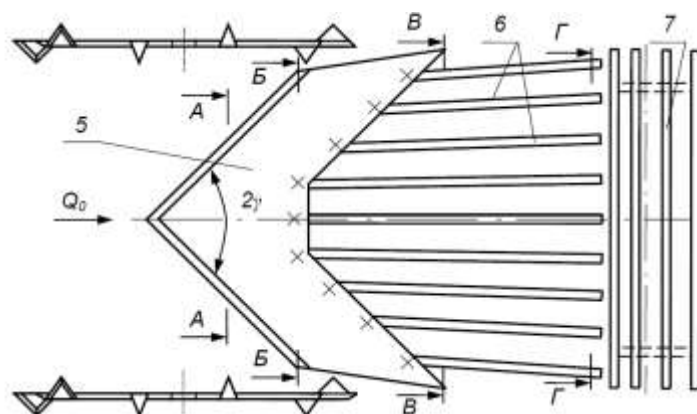
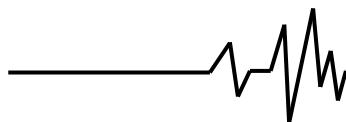


Рис. 3. Робочий орган для коренебульбозбиральних машин (вид зверху)

Працює підкопувальний робочий орган коренебульбозбиральної машини 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 лемішем 5. За рахунок поступового руху картоплекопача і зчеплення зубчастих дисків 2 з ґрунтом, які забезпечуються силами тертя на бокові поверхні, безпосередньо ґрунтозачепи 3 повертають диски на своїх осях. При цьому відбувається перерізання рослинних залишок як робочою кромкою зубчастого диска 2, так і ріжучими кромками ґрунтозачепів 3, а також відбувається відрізання 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 позовжньо-вертикальній площині і при сході з нього – по випуклій прутково-сепарувальній поверхні у поперечно-вертикальній площині, попадає на сепарувальний робочий орган 7 частково подрібнений, відсепарований і рівномірно розподілений для подальшої сепарації.

Краща сепарація бульб від ґрунту буде відбуватися за рахунок:

а) відрізання картопляного пласта по бокам зубчатыми дисками, так і ріжучими кромками ґрунтозачепів з частковим руйнуванням його;

б) зменшення подачі пласта вороху при русі по циліндроїдальному лемішу коренебульбозбиральної машини;

в) поперечної деформації пласта і часткової сепарації під час його руху по середній плоскій прутковій полицевій поверхні коренебульбозбиральної машини;

г) поперечної деформації пласта і часткової сепарації під час його руху по випуклій прутковій полицевій поверхні на виході коренебульбозбиральної машини;

д) рівномірного розподілу вороху на виході з пруткової полицевої поверхні коренебульбозбиральної машини на сепарувальну поверхню.

Основні параметри зубчастого диска з ґрунтозачепами. Для визначення площі ґрунтозачепів необхідно знати його висоту і ширину. Висота ґрунтозачепа зважаючи технологічні особливості диска не може перевищувати висоту зуба, тому приймаємо наступні умови $h_z = h_z$.

Ширина і форма ґрунтозачепа повинна забезпечувати раціональні умови роботи зубчастого диска.

Для виявлення оптимальної форми і ширини ґрунтозачепів зубчастого диска проведемо дослідження ґрунтозачепів, що мають форму:

- 1 – прямокутника;
- 2 – прямокутної трапеції;
- 3 – прямокутного трикутника.

Для обґрунтування раціональної форми і геометричних параметрів різальної кромки було розглянуто декілька форм ґрунтозачепів і проведено їх порівняння за наступними показниками:

– металоємкість конструкцій диска з ґрунтозачепами;

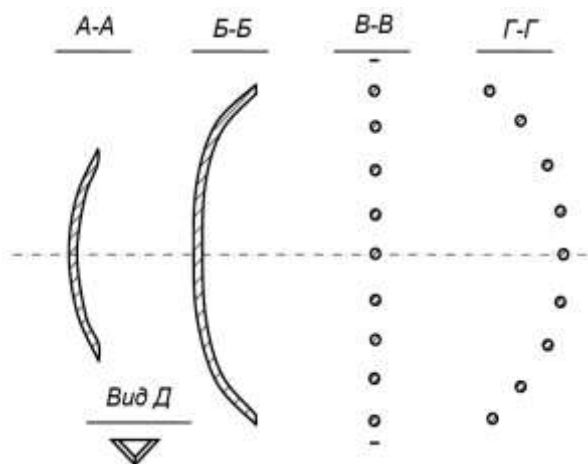
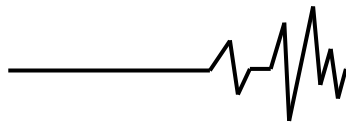


Рис. 4. Вид леміша в розрізі



– тяговим опором диска з ґрунтозачепами;
– перерізання елементів засмічених рослин і бадилля.

Основним елементом запропонованого диска є зуб з різальною кромкою, виконаною по логарифмічній кривій. В нашому випадку рівняння логарифмічної кривої має вигляд (рис. 5) [16]:

$$r = \frac{1}{2} r_0 (1 + e^{\psi \operatorname{ctg} \tau}), \quad (1)$$

де r – значення радіус-вектора, м; r_0 – початкове значення радіус-вектора, м; r_δ – кінцеве значення радіус-вектора, м; ψ – кут обхвату леза, рад.; τ – кут ковзання, рад.

В даному випадку $\tau = \operatorname{const}$.

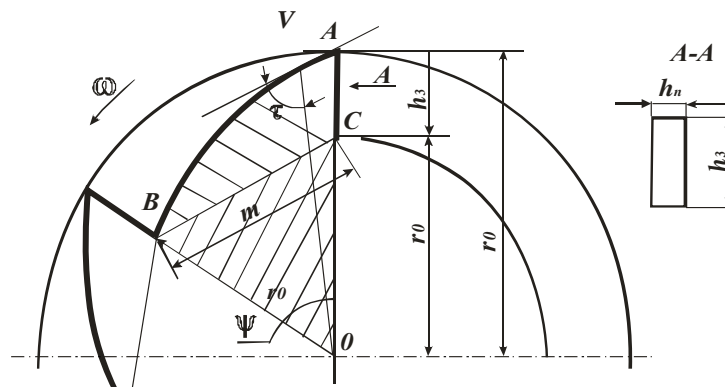


Рис. 5. Схема для визначення металоємності зубчастого диска з ґрунтозачепами, зуби якого мають ріжучу кромку, виконану за логарифмічною кривою.

З схеми (рис. 5):

$$r_k - r_0 = h_3 = \frac{1}{2} r_0 (e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} - 1). \quad (2)$$

Тоді вираз для визначення довжини ріжучої кромки зуба [17]:

$$c = \frac{r_0}{2 \sin \tau} \int_0^{\psi} \sqrt{\sin^2 \tau + 2 \cdot \sin \tau \cdot e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} + e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau}} \cdot d\psi = \frac{1}{2} r_0 \left(\psi + \frac{e^{\psi \operatorname{ctg} \tau}}{\cos \tau} \right). \quad (3)$$

$$S_{\text{заг}} = (S_{\text{зуба}} + S_n) \cdot Z, \quad (4)$$

$$S_{OAB} = \frac{S_{\text{заг}}}{Z}, \quad (6)$$

де S_n – площа ґрунтозачепа, м²; $S_{\text{зуба}}$ – площа зуба, обмежена радіусами r_0 по западинах, м²; Z – число зубів, шт.

Визначимо площу зуба:

$$S_{\text{зуба}} = S_{OAB}; \quad (5)$$

У загальному вигляді запишемо:

$$S_{OAB} = \frac{1}{2} \int_{\psi^1}^{\psi^2} r_0^2 d\psi; \quad (7)$$

$$\begin{aligned} S_{OAB} &= \frac{1}{2} \int_0^{\psi} \left(\frac{1}{2} r_0 + \frac{1}{2} r_0 \cdot e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} \right)^2 d\psi = \\ &= \frac{1}{2} \int_0^{\psi} \frac{1}{4} r_0^2 (1 + e^{\psi \operatorname{ctg} \tau})^2 d\psi = \frac{r_0^2}{4} \left(\psi + \frac{e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau}}{\operatorname{ctg} \tau} + \frac{e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau}}{2 \operatorname{ctg} \tau} + \frac{5}{2 \operatorname{ctg} \tau} \right), \end{aligned} \quad (8)$$

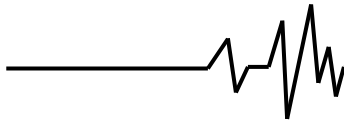
Площу ґрунтозачепа визначимо, як площу прямокутника:

$$S_n = h_3 \cdot k_n, \quad (9)$$

де k_n – ширина ґрунтозачепа, м.

Остаточно отримаємо вираз для визначення площі зубчастого диска з ґрунтозачепами прямокутної форми:

$$(10)$$



$$S_{заг.} = 10 \left(\frac{r_0^2}{8} \left(\psi + \frac{e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau}}{\operatorname{ctg} \tau} + \frac{e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau}}{2 \operatorname{ctg} \tau} + \frac{5}{2 \operatorname{ctg} \tau} \right) + h_3 \cdot k_n \right),$$

$$\begin{aligned} S_{заг.} &= \frac{5}{4} r_0^2 \left(\psi + 2 \cdot e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} \cdot \operatorname{tg} \tau + \frac{1}{2} e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} \cdot \operatorname{tg} \tau + \frac{5}{2} \operatorname{tg} \tau \right) + 5 r_0 (e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} - 1) \cdot k_n = \\ &= \frac{5}{4} r_0^2 \left(\psi + 2 \cdot \operatorname{tg} \tau \cdot e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} + \frac{1}{2} \cdot \operatorname{tg} \tau \cdot e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau} + \frac{5}{2} \operatorname{tg} \tau \right) + 5 r_0 (e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} - 1) \cdot k_n. \end{aligned} \quad (11)$$

Площа ґрунтозацепа, що має форму прямокутної трапеції визначається за формулою:

$$S_n = h_3 \cdot k_n - \frac{1}{2} k^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_n, \quad (12)$$

де α_n – кут нахилу робочої кромки ґрунтозацепа до висоти трапеції, град.

Площа зубчастого диска з ґрунтозацепами, виконаними у формі прямокутної трапеції дорівнює:

$$S_{заг.} = \frac{5}{4} r_0^2 \left(\psi + 2 \cdot \operatorname{ctg} \tau \cdot e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} + \frac{1}{2} \cdot \operatorname{tg} \tau \cdot e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau} \right) + 5 r_0 (e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau} - 1) \cdot k_n - 5 r_0^2 \operatorname{tg} \alpha_n. \quad (13)$$

Площа ґрунтозацепа, що має форму прямокутного трикутника визначиться за формулою:

$$S_n = \frac{1}{2} h_3 \cdot k_j. \quad (14)$$

Площа зубчастого диска з ґрунтозацепами, виконаними у формі прямокутного трикутника дорівнює:

$$S_{заг.} = \frac{5}{4} r_0^2 \left(\psi + 2 \cdot \operatorname{tg} \tau \cdot e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} + \frac{1}{2} \cdot \operatorname{tg} \tau \cdot e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau} \right) + \frac{5}{2} r_0 (e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} - 1) \cdot k_n. \quad (15)$$

За допомогою виразів 11, 13, 15 можна знайти металоємність диска:

$$Q_{зуб} = \rho_{ст} \cdot S_{заг.} \cdot b_{\partial}, \quad (16)$$

де $\rho_{ст}$ – питома вага сталі, кг/м³; b_{∂} – товщина диска, м, $S_{заг.}$ – площа зубчастого диска, м².

У результаті розрахунку ми прийшли до висновку, що металоємність зубчастого диска з ґрунтозацепами в порівнянні з диском без ґрунтозацепів збільшилася на величину від 1,7% до 3,4%.

Залежно від форми ґрунтозацепа його площа дорівнює:

- прямокутник

$$S_n = h_3 \cdot k_n; \quad (17)$$

- прямокутна трапеція

$$S_n = h_3 \cdot k_n - \frac{1}{2} k_n^2 \cdot \operatorname{ctg} \tau; \quad (18)$$

- трикутник

$$S_n = \frac{1}{2} h_3 \cdot k_n. \quad (19)$$

Довжина робочої кромки зуба визначається висотою зуба, довжиною його ріжучої поверхні, шириною ґрунтозацепа, числом зубів на відріжку леза, зануреного в ґрунт, тобто [16]:

$$l_{кр} = Z' \cdot (h_3 \cdot c_3 \cdot k_n), \quad (20)$$

де h_3 – висота зуба, м, c_3 – довжина криволінійної сторони зуба, м, k_n – ширина ґрунтозацепа, м, Z' – число зубів, що знаходяться на відріжку леза, зануреного в ґрунт, шт.

Необхідно визначити число зубів на відріжку леза, зануреного в ґрунт. Для цього скористаємося схемою, представленою на рис. 6.

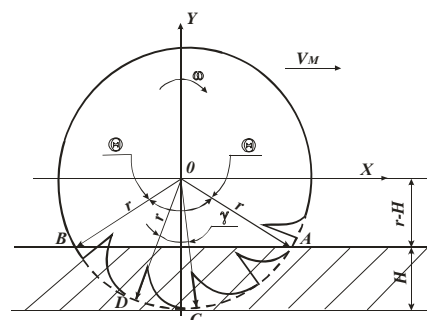
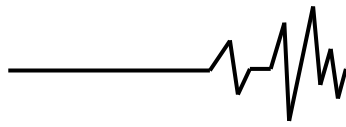


Рис. 6. Схема для визначення числа зубів диска, занурених у ґрунт



Довжину дуги l_{AB} визначити за формулою [16]:

$$l_{AB} = r_{\partial} \left(\pi - 2 \arcsin \frac{r_{\partial} - H}{r_{\partial}} \right). \quad (21)$$

Довжину дуги l_{DC} , яка відповідає розташуванню одного зуба на дузі АВ, можна визначити наступним способом:

$$l_{DC} = r_{\partial} \cdot \gamma, \quad (22)$$

де r_{∂} – радіус диска по вершинах зубів, м; γ – центральний кут для одного зуба, град.

При відомому числі зубів Z визначимо:

$$\gamma = \frac{2\pi}{Z}. \quad (23)$$

Кількість зубів, занурених у ґрунт, рівна [16]:

$$Z' \approx \frac{l_{AB}}{l_{DC}} = \frac{Z \cdot \left(\pi - 2 \arcsin \frac{r_{\partial} - H}{r_{\partial}} \right)}{2\pi}. \quad (24)$$

Отримаємо довжину ріжучої кромки, зануреної у ґрунт:

$$l = \frac{(h_3 + c_3 + k_n) \cdot \left(\pi - 2 \arcsin \frac{r_{\partial} - H}{r_{\partial}} \right)}{2\pi}. \quad (25)$$

Розглянемо дію сил опору ґрунту на зубчастий диск з ґрунтозачепами, для чого скористаємося схемою, представленою на рис. 7.

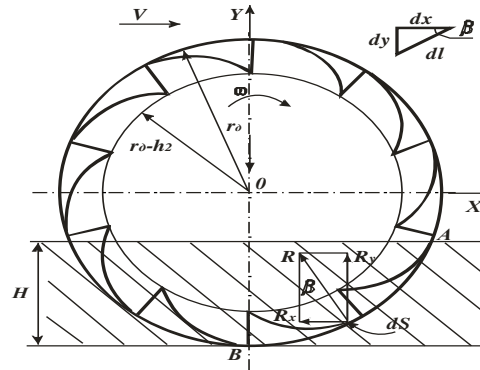


Рис. 7. Схема до визначення тягового опору диска з ґрунтозачепами, зуби якого мають ріжучу поверхню, виконану за логарифмічною кривою

Після перетворення вираз для визначення тягового опору диска з логарифмічною зубчастою ріжучою кромкою і ґрунтозачепами без урахування сил тертя буде мати вигляд [16]:

$$\begin{aligned} R_x &= \frac{Q_{z.ч.} \left(b_{\partial} \cdot H + \sum_{i=Z'} S_n \cdot \cos \beta_i \right)}{\frac{2 \cdot Z \cdot b_{\partial} \cdot r_{\partial}}{2 \cdot 2\pi} \left(\psi + \frac{2k_n}{r_{\partial}} - 1 + e^{\psi \text{ctg} \tau} \left[1 + \frac{1}{\cos \tau} \right] \right) \cdot \left(\pi - 2 \arcsin \frac{r_{\partial} - H}{r_{\partial}} \right) + \sum_{i=Z'} S_n \cdot \sin \beta_i} = \\ &= \frac{Q_{z.ч.} \left(b_{\partial} \cdot H + \sum_{i=Z'} S_n \cdot \cos \beta_i \right)}{Z \cdot b_{\partial} \cdot r_{\partial} \left(\psi + \frac{2k_n}{r_{\partial}} - 1 + e^{\psi \text{ctg} \tau} \left[1 + \frac{1}{\cos \tau} \right] \right) \cdot \left(\pi - 2 \arcsin \left[1 - \frac{2PH}{r_{\partial} (1 + e^{\psi \text{ctg} \tau})} \right] \right) + \sum_{i=Z'} S_n \cdot \sin \beta_i}. \end{aligned} \quad (26)$$

За результатами проведених обчислень був зроблений порівняльний аналіз дискових елементів підкопувального робочого органу наступних типів: диска із зубами, виконаними за логарифмічною кривою, диска з

ґрунтозачепами, що мають форму прямокутника, диска з ґрунтозачепами, що мають форму прямокутної трапеції, і диска з ґрунтозачепами, що мають форму прямокутного трикутника (табл. 1).

Таблиця 1.

Порівняльні характеристики дисків з ґрунтозачепами різної форми

Порівняльні показники	Зубчастий диск без ґрунтозачепа	Зубчастий диск з ґрунтозачепами		
		Прямокутна форма	Прямокутна трапеція	Прямокутний трикутник
1. Збільшення металоемкості, %	0,0	3,4	3,3	1,7
2. Збільшення тягового опору, %	0,0	14,5	11,2	8,7



Розглянемо вплив робочої кромки ґрунтозачепа на рослинні залишки і бадилля. Спочатку прийнемо, що ґрунтозачеп має форму прямокутної трапеції. Скористаємося схемою, представленою на рис. 8.

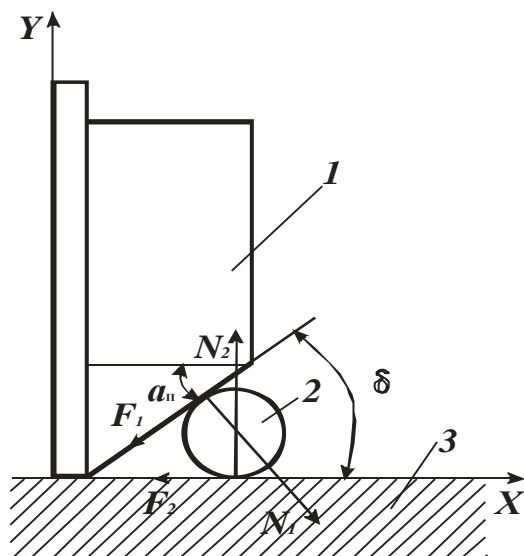


Рис. 8. Схема дії робочої кромки ґрунтозачепа на елемент рослини:

1 – ґрунтозачеп диска; 2 – елемент рослини; 3 – поверхня поля

Нехай на елемент рослини діють сили N_1 і N_2 , нормальні до робочої кромки і поверхні ґрунту. Якщо він буде виштовхувати з розчину робочої кромки і поверхні ґрунту, то на нього діють сили тертя F_1 і F_2 , значення яких знайдемо з виразів [16]:

$$F_1 = N_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (27)$$

$$F_2 = N_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2, \quad (28)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_1$ і $\operatorname{tg} \varphi_2$ – коефіцієнти тертя елемента рослини відповідно в сталь і в ґрунт.

Щоб рослинні залишки не виштовхувалися з вищезазначеного розчину, сила F_2 повинна бути більше або дорівнює сумі проєкцій всіх сил, що діють на стебло по осі ОУ, тобто має дотримуватися умова:

$$F_2 \geq N_1 \cdot \sin \delta - F_1 \cdot \cos \delta, H. \quad (29)$$

Тоді умова защемлення елементів рослин робочою кромкою ґрунтозачепа буде мати вигляд [16]:

$$a_n \leq \varphi_1 + \varphi_2. \quad (30)$$

Кути φ_1 і φ_2 відомі, і, отже, кут нахилу робочої кромки ґрунтозачепа, що визначає перерізання елементів рослин і бадилля, повинен бути менше або дорівнює 63° [16], тобто:

$$a_n \leq 27^\circ + 36^\circ = 63^\circ. \quad (31)$$

Аналізуючи вираз (31), можна зробити висновок, що ґрунтозачеп виконаний у формі прямокутної трапеції є найбільш раціональним рішенням для перерізання рослинних залишків. Так, як ґрунтозачеп, що має форму прямокутного трикутника, для забезпечення умови защемлення повинен мати ширину не менше 50 мм, що негативно позначиться на металоємності та тяговому опорі. А прямокутна форма ґрунтозачепа є перерізання рослинних залишків різанням без ковзання (тобто $\delta = 0$), яке є більш енерговитратним, ніж різання з ковзанням [16].

Дослідження експериментальних картоплезбиральних машин велися за двома основними напрямками: перевірка теоретичних напрацювань в реальних умовах збирання картоплі та оцінка агротехнічних і енергетичних показників їх роботи.

Випробування проводилися в період збирання (вересень – жовтень) на полях ТзОВ «Мрія Сервіс» Борщівського району, Тернопільської області, акт випробування.

Умови випробувань визначалися згідно ГОСТ 108.5-87 «Випробування сільськогосподарської техніки. Машини для збирання та післязбиральної обробки картоплі. Програма та методика випробувань».

Випробування проводилися на суглинчатих ґрунтах при врожайності картоплі 132 ц/га. Експериментальні картоплекопачі на базі КСТ-1,4А брали участь у збиранні картоплі разом з серійними картоплекопачами КСТ-1,4А.

Експериментальні картоплекопачі мали змінену підкопувальну частину, що складається із секційного пасивного лемеша і вертикальних дисків, установлених із зовнішнього боку робочого органу.

Дисковий елемент мав зуби з ґрунтозачепами, виконаними у формі прямокутної трапеції. Глибина підкопування встановлювалася за допомогою опорного колеса, що йде по міжряддю. Сепарувальний пристрій складався з пруткового елеватора.

На рис. 9 і 10 показано результати польових досліджень експериментального картоплекопача в порівнянні з серійним при втратах і пошкодженнях бульб картоплі в залежності від робочої швидкості.

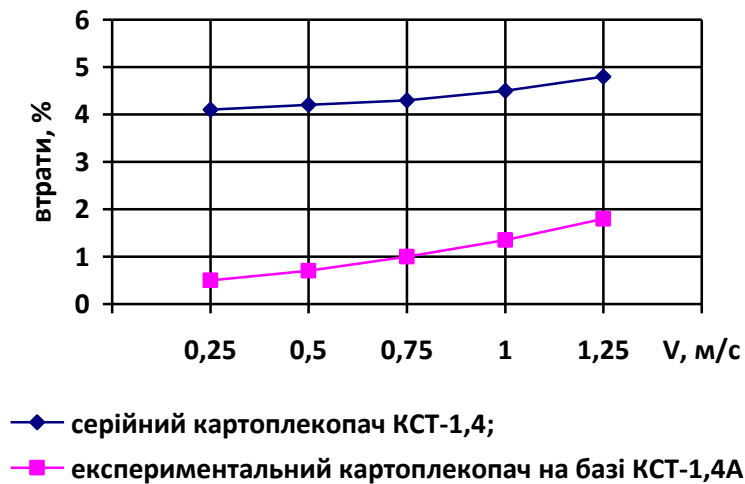
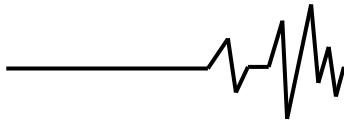


Рис. 9. Втрати бульб картоплі залежно від робочої швидкості і конструкції підкопувальних органів картоплекопача

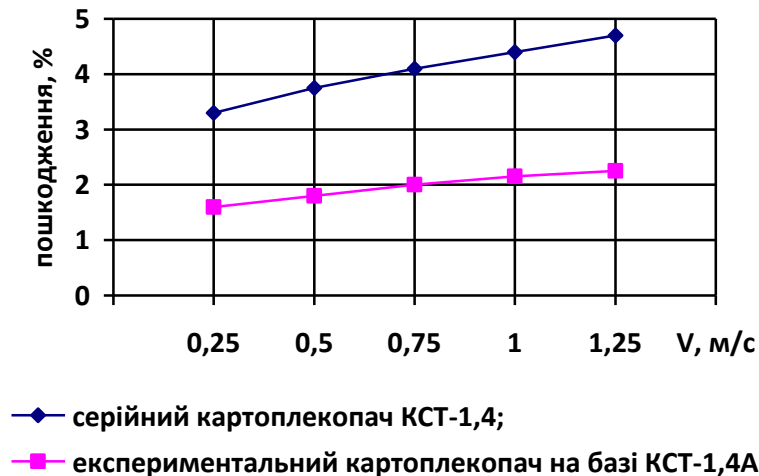


Рис. 10. Пошкодження бульб картоплі залежно від робочої швидкості і конструкції підкопувальних органів картоплекопача

Проведені дослідження показали наступне:

1. Підкопувальний робочий орган експериментального картоплекопача при зменшенні тягового опору на 18%, має поліпшене кришіння бульбоносного пласта на 19%.

2. Повнота викопування у експериментального картоплекопача на базі КСТ-1,4А склала 99,1%, проти 97,6% у серійного копача КСТ-1,4. Отримані дані можна пояснити більш досконалою конструкцією розроблених підкопувальних робочих органів.

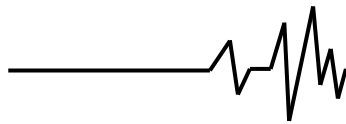
3. Підвищення чистоти сходів вороху експериментального картоплекопача на 30,8% в порівнянні з серійним КСТ-1,4А відбувається в результаті зниження захоплення «вільного» ґрунту з міжрядь, а також кращого кришіння ґрунту підкопувальними робочими органами.

4. У результаті застосування дискових

боковин з ґрунтозачепами в підкопувальному робочому органі підвищилася технологічна надійність експериментального картоплекопача, а час простоїв знизився на 33%.

5. Використання картоплекопача з експериментальним підкопувальним робочим органом дозволило підвищити продуктивність праці на підборі на 22%.

Господарські польові випробування експериментального картоплекопача проводилися на полях ТзОВ «Мрія Сервіс» Тернопільської області. За цей період було зібрано 17 га картоплі. Встановлено, що експериментальний підкопувальний робочий орган з дисковими елементами, що мають ґрунтозачепа, забезпечував виконання технологічного процесу підкопування з поліпшенням кришіння пласта, полегшуючи сепарацію ґрунту.



Картоплекопач дозволяє вести збирання картоплі з допустимою якістю на робочих швидкостях від 2,2 до 4,7 км/год.

Дослідження зносу вертикальних відрізних дисків з ґрунтозачепами картоплезбиральних машин з удосконаленням підкопувальним робочим органом.

Дослідження зносу вертикальних відрізних дисків з ґрунтозачепами проводилось під час польових випробувань. Величину зносу визначали за зменшенням маси зразка зважуванням на аналітичних вагах до і після випробувань. Результати випробувань виражалися показником питомого зносу J (г/га), що дорівнює відношенню різниці мас зубчастого диска до і після випробувань m (г) до площі обробленої ділянки поля S_n (га).

$$J_n = \frac{m_n}{S_{Пн}}. \quad (32)$$

$$m_n = m_{2n} - m_{1n}. \quad (33)$$

Зважуванню піддавалися всі зубчасті диски, після чого розраховується середній питомий знос:

$$J = \frac{J_1 + \dots + J_n}{n}. \quad (34)$$

Також, під час дослідження проводився контроль інтенсивності зношування ґрунтозачепів по ширині і товщині. Вимірювання товщини здійснювалось за допомогою індикаторної головки з точністю 0,01 мм, вимір ширини виконувався за допомогою штангенциркуля з точністю 0,05 мм.

Результати дослідження зношування зубчастих дисків з ґрунтозачепами за масою і ґрунтозачепів за лінійними показниками представлені в таблиці 2.

Таблиця 2.

Результати дослідження зношування зубчастих дисків з ґрунтозачепами за масою і ґрунтозачепів за лінійними показниками

Показник	Одиниці вимірювань	Тип ґрунту	
		супіщаних	суглинчастих
1	2	3	4
Кількість дисків	од.	2	2
Середня питома знос	г/га	1,34	0,61
Зміна лінійних показників ґрунтозачепів за час дослідження:			
– в середньому по довжині – у	мм	1,36	0,71
середньому по ширині	мм	0,25	0,61
– в середньому по товщині	мм	0,19	0,11

Варто зазначити, що дослідження на супіщаному ґрунті проводилися на площі 17 га, а на суглинчастих ґрунтах – 10 га.

Виходячи з результатів проведеного дослідження, можна зробити висновок, що за весь термін експлуатації удосконаленої картоплезбиральної машини не потрібно заміну вертикальних відрізних зубчастих дисків з ґрунтозачепами, викликана їхнім надмірним зносом.

Висновки.

1. Комбінований підкопувальний робочий орган, який містить пасивний леміш і відрізні диски з ґрунтозачепами, забезпечує роботу на швидкостях до 4,7 км/год. Використання нових підкопувальних робочих органів дозволило підвищити чистоту сходів вороху на 30,8% в порівнянні з базовим варіантом.

2. Установка в підкопувальній частині дисків з ґрунтозачепами на бічній поверхні дозволяє в порівнянні з базовим варіантом

поліпшити кришення пласта на 19%.

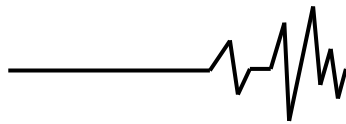
3. Порівняльні випробування експериментальних картоплекопачів, оснащених розробленою підкопувальною частиною, з серійним картоплекопачем КСТ-1,4А показали, що її застосування дає позитивні результати: повнота збирання становить 99,1% проти 97,6%, не викопані бульби відсутні.

4. Використання відрізних дискових елементів у підкопувальній частині знижує тяговий опір експериментального підкопувального робочого органу на 15% у порівнянні з базовим варіантом їх роботи, покращує кришення бульбоносного пласта на 11%, дозволяє збільшити чистоту сходів вороху на 16%.

5. Дослідження зносу розроблених зубчастих дисків за період досліджень показав, що за відсутності виробничого браку термін експлуатації дисків буде дорівнює терміну

експлуатації картоплезбиральної машини 8 років.

Напрямок подальших досліджень у цій



сфері може бути широке коло питань теоретичного обґрунтування параметрів підкопувально-сепарувальних робочих органів картоплезбиральних машин.

Список використаних джерел

1. Грушецький С.М. Аналіз сучасних технологій вирощування і збирання картоплі. *Збірник наукових праць ПДАТУ*. Вип. 24, час. 2 (технічні науки). 2016. С. 55-64.

2. Грушецький С.М. Обґрунтування конструкції і параметрів лемішно-полицевого картоплекопача з барабанним сепаратором картопляного вороху. Дисертація кандидата технічних наук. 05.05.11. Вінниця. 2008. 285 с.

3. Погорелый Л.В., Татьяна М.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. *Феникс*. 2004. 232 с.

4. Дубровин В., Голуб Г., Барановский В., Теслюк В.. Идентификация процесса разработки адаптированной корнеуборочной машины. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agrifood industry machinery*. Lublin-Rzeszow. 2013. Vol. 15. № 3. С. 243-255.

5. Рамш В.Ю., Барановський В.М., Паньків М.Р. Аналіз тенденцій розвитку робочих органів для сепарації вороху коренеплодів. *Наукові нотатки*. ЛНТУ. 2011. Вип. 31. С. 298-305.

6. Барановський В.М., Онищенко В.Б., Соломка В.О. Напрямки вдосконалення сепарувальних робочих органів коренезбиральних машин. *Збірник наукових праць НАУ „Механізація сільськогосподарського виробництва”*. Том XII. Київ. 2002. С. 31-42.

7. Калетник Г.М., Пришляк В.М., Яропуд В.М., Булгаков В.М., Пилипака С.Ф. Математичне моделювання руху скиби ґрунту по площині косої клина. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях»*. ВНАУ. 2013 р. Вип. 4 (72). С. 27-36.

8. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Захарова Т.Н., Калетник 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.

9. 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.

10. Фирман Ю., Грушецкий С.

Кинематический анализ работы динамического ленточного сепаратора. *MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture*. 2015. Vol. 17. No.1. 11-16.

11. Грушецкий С., Фирман Ю. Исследование и обоснование параметров лемешно-отвального картофелекопателя с барабанным сепаратором картофеля вороха. *MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture*. 2015. Vol. 17. No.1. 17-26.

12. Грушецький С.М., Збаравська Л.Ю., Семенишена І.В. Аналіз конструктивно-технологічних схем підкопувальних робочих органів коренебульбозбиральних машин. *Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник наукових праць XVIII міжн. наук. конф.* 16-18 жовтня 2017 р. м. Кам'янець-Подільський. *Крок*. 2017. С. 63-65.

13. Грушецький С.М., Бендера І.М., Білоус С.В. Патент №31779. МПК (2006). A01D21/00. Леміш коренебульбозбиральної машини. № u 2007 12978. Заявл. 23.11. 2007. Опубл. 25.04. 2008. Бюл. № 8. 6 с.

14. Грушецький С.М., Городинський В.О., Ставрुक Д.В., Громик Б.І., Дудар М.О. Патент № 99259. МПК (2015). A01D21/00. Підкопувальний робочий орган для коренебульбозбиральних машин. № u2014 12978. Заявл. 15.12. 2014. Опубл. 25.05. 2015. Бюл. № 10. 4 с.

15. Грушецький С.М., Збаравська Л.Ю., Семенишена І.В. Новий підкопувальний робочий орган для коренебульбозбиральних машин. *Збірник наукових праць ПДАТУ*. Кам'янець-Подільський. Вип. 26, час. 2 (технічні науки). 2018.

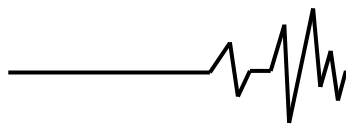
16. Ставрुक Д.В. Удосконалення підкопувальних робочих органів для картоплезбиральних машин *Наукова робота*. 05.05.11. Харків. 2015. 98 с.

17. Городинський В.О., Грушецький С.М. Обґрунтування конструкції і параметрів підкопувальних робочих органів для картоплезбиральних машин. *Наукова робота*. 05.05.11. Харків. 2016. 87 с.

References

[1] Hrushetskiy S.M. (2016). Analiz suchasnykh tekhnolohiy vyroshchuvannya i zbyrannya kartopli [Analysis of modern technologies for growing and harvesting potatoes]. *Zbirnyk naukovykh prats' PDATU*. Vyp. 24, chas. 2 (tekhnichni nauky). S. 55-64.

[2] Hrushetskiy S.M. (2008). Obgruntuvannya konstruktsiyi i parametriv lemishno-polytsevoho kartoplekopacha z barabannym separatorom kartoplyanoho vorokhu [Substantiation of the design and parameters of



the blade-shelf potato digger with the drum separator of potato heap]. *Dysertatsiya kandydata tekhnichnykh nauk*. 05.05.11. Vinnytsya. 285 s.

[3] Pohorelyy L.V., Tat'yanko M.V. (2004). *Svekluborochnye mashyny: ystoryya, konstruktsyya, teoryya, prohnoz [Beet-harvesting machines: history, design, theory]*. Fenyks. 232 s.

[4] Dubrovyn V., Holub H., Baranovskyy V., Teslyuk V. (2013). *Ydentyfikatsyya protsessa razrabotky adaptirovannoy korneuborochnoy mashyny [Identification of the process of developing an adapted root harvesting machine]*. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agrifood industry machinery. Lublin-Rzeszow. Vol. 15. № 3. S. 243-255.

[5] Ramsh V.YU., Baranovskyy V.M., Pan'kiv M.R. (2011). *Analiz tendentsiy rozvytku robochykh orhaniv dlya separatsiyi vorokhu koreneplodiv [Analysis of tendencies of development of working bodies for separation of heap of roots]*. *Naukovi notatky*. LNTU. Vyp. 31. S. 298-305.

[6] Baranovskyy V.M., Onyshchenko V.B., Solomka V.O. (2002). *Napryamky vdoskonalennya separuval'nykh robochykh orhaniv korenezbyral'nykh mashyn [Areas of improvement of the separating working bodies of root harvesting machines]*. *Zbirnyk naukovykh prats' NAU „Mekhanizatsiya sil'skohospodars'koho vyrobnytstva”*. Tom KHII. Kyiv. S. 31-42.

[7] Kaletnik H.M., Pryshlyak V.M., Yaropud V.M., Bulhakov V.M., Pylypaka S.F. *Matematychnye modelyuvannya rukhu skyby gruntu po ploshchyni kosocho klyna [Mathematical modeling of the motion of a soil slice along the oblique wedge plane]*. *Vseukrayins'kyy naukovo-tekhnichnyy zhurnal «Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh»*. VNAU. 2013 r. Vyp. 4 (72). S. 27-36.

[8] Bulhakov V.M., Pylypaka S.F., Zakharova T.N., Kaletnik H.M., Yaropud V.M. *Ploski vertykal'ni kryvi, yaki zabezpechuyut' postiynyi tysk i shvydkist' rukhu material'noyi tochky [Flat vertical curves that provide constant pressure and velocity of material point]*. *Vseukrayins'kyy naukovo-tekhnichnyy zhurnal «Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh»*. VNAU. 2014 r. – Vyp. 1 (73). S. 5-12.

[9] Aliev E., Bandura V., Pryshliak V., Yaropud V., Trukhanska O. *Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural [Modeling of mechanical and technological processes of agricultural]*. *INMATEH - Agricultural Engineering*. vol. 54, no.1. 2018. P. 95-104.

[10] Fyrman YU., Hrushetskiy S. (2015). *Kynematycheskyy analiz raboty dynamycheskoho*

lentochnoho separatora [Kinematic analysis of the work of a dynamic tape separator]. MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. Vol. 17. No.1. 11-16.

[11] Hrushetskiy S., Fyrman YU. (2015). *Yssledovanye y obosnovanye parametrov lemeshno-otval'noho kartofelekopatelya s barabannym separatorom kartofel'noho vorokha [Investigation and substantiation of the parameters of the saw blade potato digger with the drum separator of the potato heap]*. MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. Vol. 17. No.1. 17-26.

[12] Hrushetskiy S.M., Zbaravs'ka L.YU., Semenysheva I.V. (2017). *Analiz konstruktivno-tekhnolohichnykh skhem pidkopuval'nykh robochykh orhaniv korenebul'bozbyral'nykh mashyn [Analysis of structural and technological schemes of the digging working bodies of the rooting machines]*. *Suchasni problemy zemlerobs'koyi mekhaniky: zbirnyk naukovykh prats' XVIII mizhn. nauk. konf.* 16-18 zhovtnya 2017 r. m. Kam'yanets'-Podil's'kyy. Krok. S. 63-65.

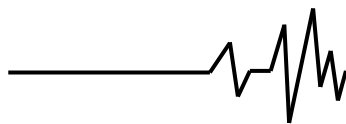
[13] Hrushetskiy S.M., Bendera I.M., Bilous S.V. (2008). Patent №31779. MPK (2006). A01D21/00. *Lemish korenebul'bozbyral'noyi mashyny [Blades of the rooting machine]*. №u200712978. Zayavl. 23.11. 2007. Opubl. 25.04. 2008. Byul. № 8. 6 s.

[14] Hrushetskiy S.M., Horodyns'kyy V.O., Stavruk D.V., Hromyk B.I., Dudar M.O. (2015). Patent № 99259. MPK (2015). A01D21/00. *Pidkopuval'nyy robochyy orhan dlya korenebul'bozbyral'nykh mashyn [Undermining working body for rooting machines]*. №u201412978. Zayavl. 15.12.2014. Opubl. 25.05.2015.

[15] Hrushetskiy S.M., Zbaravs'ka L.YU., Semenysheva I.V. (2018). *Novyy pidkopuval'nyy robochyy orhan dlya korenebul'bozbyral'nykh mashyn [New digging work body for rooting machines]*. *Zbirnyk naukovykh prats' PDATU*. Kam'yanets'-Podil's'kyy. Vyp. 26, chas. 2 (tekhnichni nauky).

[16] Stavruk D.V. (2015). *Udoskonalennya pidkopuval'nykh robochykh orhaniv dlya kartoplezbyral'nykh mashyn [Improvement of digging working bodies for potato harvesters]*. *Naukova robota*. 05.05.11. Kharkiv. 98 s.

[17] Horodyns'kyy V.O., Hrushetskiy S.M. (2016). *Obgruntuvannya konstruktsiyi i parametriv pidkopuval'nykh robochykh orhaniv dlya kartoplezbyral'nykh mashyn [Substantiation of the design and parameters of the digging working bodies for potato harvesters]*. *Naukova robota*. 05.05.11. Kharkiv. 87 s.



ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СЕПАРАЦИИ КАРТОФЕЛЬНОГО ВОРОХА ПОДКАПЫВАЮЩИМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

Из краткого аналитического обзора работ, посвященных исследованию подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин, видно, что к настоящему времени уже накоплен значительный теоретический и экспериментальный материал, раскрывающий закономерности процессов взаимодействия рабочих органов различных конструкций из клубненосной массой. Однако, несмотря на это, на сегодняшний день не удалось создать достаточно эффективное, надежное, малоэнергоёмкое, которое удовлетворит все агротехнические требования подкапывающее устройство для картофелеуборочных машин и проблема разработки такого устройства по-прежнему остается актуальной.

Учитывая актуальность вопросов, связанных с разработкой подкапывающих рабочих органов при создании надежных высокопроизводительных картофелеуборочных машин относительно малой энергоёмкости, в данной работе поставлена цель - систематизации и обобщения исследований о современных технологиях выращивания и уборки картофеля и создание новой конструкции подкапывающего рабочего органа который бы забирал вместе с клубнями минимальное количество почвы и обеспечивал возможность лучшего дробления пласта для облегчения сепарации при повышении эксплуатационной производительности, технологической надежности подкапывающие рабочего органа и снижения его тягового сопротивления.

По результатам проведенных исследований разработан новый комбинированный подкапывающий рабочий орган, который содержит пассивный лемех и отрезные диски с грунтозацепами и обеспечивает работу на высоких скоростях. Использование новых подкапывающих рабочих органов позволит повысить чистоту сходов вороха на 30,8% в сравнении с базовым вариантом. Доказано, что установка в подкапывающие части дисков с грунтозацепами на боковой поверхности позволяет в сравнении с базовым вариантом существенно улучшить измельчение пласта В результате проведенных сравнительных испытаний экспериментальных картофелекопалок, оснащенных разработанной подкапывающей частью, с серийным картофелекопателем подтверждают, что ее

применение дает положительные результаты. Установлено, что использование отрезных дисковых элементов в подкапывающие части значительно снижает тяговое сопротивление экспериментального подкапывающего рабочего органа в сравнении с базовым вариантом их работы, улучшает измельчения клубненосного пласта и позволяет увеличить чистоту схождения вороха. Исследование износа разработанных зубчатых дисков за период исследований показал, что при отсутствии производственного брака срок эксплуатации дисков будет наравне со сроком эксплуатации картофелеуборочной машины.

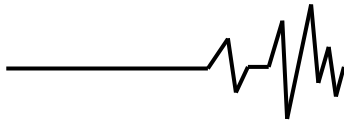
Ключевые слова: картофель, клубень картофеля, подкапывающие рабочий орган, картофелеуборочная машина.

RESEARCH ON THE QUALITY OF SEPARATION OF THE POTATO MILLER WITH BRIDGE WORKING AUTHORITIES OF THE POTATO MACHINE

From a brief analytical review of the works devoted to the research of the digging working bodies of potato harvesting machines, it can be seen that by the present time considerable theoretical and experimental material has been accumulated, which reveals the regularities of the processes of interaction of working bodies of different structures with the bulbous mass. However, to date, it has not been possible to create a sufficiently efficient, reliable, low-energy device that satisfies all the agrotechnical requirements of a potato harvester and the problem of developing such a device still remains relevant.

Considering the urgency of the issues related to the development of the bribery working bodies in the creation of reliable high-performance potato harvesting machines of relatively low energy intensity, in this work the aim is to systematize and generalize the research on modern technologies for growing and harvesting potatoes and to create a new construction of the bribery working potato took together with the tubers a minimum amount of soil and provided the possibility of better crushing of the formation to facilitate separation when increasing the ex plutational productivity, technological reliability of the undermining working body and reducing its traction resistance.

According to the results of the researches, a new combined excavator working body was developed, which contains passive brazing blades and detachable discs with soil hooks and provides work at high speeds. The use of new dredging working bodies will increase the purity of the heap ladder by 30.8% compared to the baseline. It is proved that the installation in the excavation part



of the discs with soil hooks on the side surface allows to significantly improve the crumb formation in comparison with the basic variant. As a result of the comparative tests of experimental potato diggers equipped with the developed excavating part, with the use of its final rigging. It is established that the use of detachable disc elements in the undercut part significantly reduces the traction resistance of the experimental undercut working body in comparison with the

basic variant of their work, improves the cover of the bourbon layer and allows to increase the purity of the pile ladder. Investigation of wear of the developed gear discs during the research period has shown that in the absence of a manufacturing defect, the life of the disks will be equal to the life of the potato harvester.

Keywords: *potato, potato mass, potato harvester, potato harvester.*

Відомості про авторів

Грушецький Сергій Миколайович - кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії і системотехніки Подільського державного аграрно-технічного університету (вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32316, e-mail: g.sergiy.1969@gmail.com).

Яропуд Віталій Миколайович - кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).

Бабин Ігор Анатолійович – асистент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва, Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: babyn@vsau.vin.ua).

Грушецкий Сергей Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры агроинженерии и системотехники Подольского государственного аграрно-технического университета (ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Хмельницкая обл., 32316, e-mail: g.sergiy.1969@gmail.com).

Яропуд Виталий Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования сельскохозяйственного производства Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).

Бабин Игорь Анатольевич – ассистент кафедры машин и оборудования сельскохозяйственного производства, Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: babyn@vsau.vin.ua).

Hrushetskiy Sergiy - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agroengineering and System Engineering Podilsky State Agrarian and Technical University (St. Shevchenko, 13, Kamianets-Podilsky, Khmelnytsky region, 32316, e-mail: g.sergiy.1969@gmail.com).

Yaropud Vitaliy - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of machinery and equipment for agricultural production of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).

Babyn Ihor – assistant of the department of machines and equipment of agricultural production, Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya str., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: babyn@vsau.vin.ua).