

УДК 514.18

DOI: 10.32347/0131-579X.2024.107.21-33

д. т. н., с. н. с. **Волоха М.П.**,

volmp@i.ua, ORCID: 0000-0002-0112-7324

д. т. н., професор **Вірченко Г.А.**,

kpivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538

к. т. н., доцент **Яблонський П.М.**,

ypn@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1971-5140

ст. викладач **Лазарчук М.В.**,

mlazarchuk@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6192-6825

аспірант **Лазарчук-Воробйова Ю.В.**,

jullazarchuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7866-3299

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ГЕОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ОЧИСНИХ ШНЕКІВ ДИСКОВИХ КОПАЧІВ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

Значною проблемою процесу збирання буряків цукрових, як найбільш витратної складової всієї технології, є забрудненість вороху коренеплодів землею, особливо при роботі машин на твердих (понад 4,0–4,5 МПа) ґрунтах, коли кількість невикопаних коренеплодів різко зростає до 13–15 % і до 40 % коренеплодів викопуються пошкодженими, особливо за рахунок ударних напружень. Крім того, за таких складних умов збирання з полів вивозиться значна кількість родючого ґрунту у вигляді грудок. Вочевидь, постає важлива народногосподарська проблема збереження родючості ґрунтів, вирішити яку можливо шляхом очищення вороху викопуваних коренеплодів безпосередньо в полі, тобто первинним очищенням коренеплодів під час роботи копачів.

Не менш важливою іншою проблемою, що виникає під час переробки цукросировини, є забрудненість вороху коренеплодів залишками гички та бур'янів. Встановлено, що фізична забрудненість зібраних коренеплодів понад нормативних показників державних стандартів щодо їх переробки, негативно впливає на якість цукросировини, адже сторонні домішки та сильно пошкоджені, в тому числі хворобами і шкідниками, коренеплоди заважають вилученню цукру. Загалом, при тривалому заводському зберіганні (більше 60 діб) сильно пошкоджених і забруднених землею та рослинними залишками коренеплодів значно погіршуються кондиції сировини внаслідок ураження кагатною гниллю, а втрати цукру стрімко зростають. За даними д. с.-г. н. Іоніцой Ю.С. кожний відсоток зеленої

маси на коренеплодах призводить до зниження доброякісності дифузійного соку на 0,4–0,5 % і збільшення вмісту цукру в мелясі на 0,1 %. Отже, розробка пристрою для первинного очищення викопуваного вороху коренеплодів, вмонтованого в схему копача, є актуальною.

У статті на основі результатів експериментальних досліджень встановлено, що використання гелікоїдальних робочих поверхонь шнеків за умов підвищеної твердості ґрунту забезпечує суттєве зменшення забрудненості викопуваних коренеплодів грудками землі і рештками зеленої маси та кількості пошкоджених коренеплодів у порівнянні з серійним бітерним очисником дискового копача.

Експериментальні зразки копачів з гелікоїдальними шнеками апробовані у дослідному господарстві й прийняті до впровадження на ПАТ «БОРЕКС».

Ключові слова: буряки цукрові; ворох коренеплодів; пристрій для первинного очищення; гвинтова лінія; крок навивки.

Постановка проблеми. Рівень забрудненості вороху викопаних коренеплодів в основному залежить від технічної досконалості очисних робочих органів бурякозбиральних машин. На копачах вижимного типу (дискових, лемешкових, вилчастих) для цього призначені бітери чи гвинтові шнеки різних конструкцій. Експериментами та спостереженнями за роботою в польових умовах встановлена низька очищувальна здатність як бітерного пристрою, що виключно за рахунок удару перекидає ворох коренеплодів, так і шнека з гвинтовою навивкою, коли, у разі відказу в роботі і вимушеної зупинки машини, купа коренеплодів з рослинними рештками і землею скупчується в задній зоні шнека, що призводить до забивання робочих органів. Відомі закордонні й вітчизняні розробки з установкою на комбайн чи коренезбиральну машину додаткових очищувально-транспортуючих пристроїв, однак вони ускладнювали конструкцію в цілому та габаритні розміри, особливо по довжині.

Аналіз останніх досліджень. Всупереч високому рівню складності самохідних комбайнів та бурякозбиральних машин [1] показники якості збирання урожаю, особливо за складних ґрунтово-кліматичних умов, перевищують нормативи державних стандартів [2, 3] Тому, наприклад, вченими американського товариства інженерів сільського господарства та біології розробляються системи допомоги операторам для покращення продуктивності та оптимізації процесу збирання. У статті [4] наведені результати застосування сучасних засобів машинного навчання та викладений підхід до їх розробки. Зокрема, починаючи з опису процесу збирання врожаю, в машину інтегруються датчики якості, показується концепція алгоритму їх оцінювання, а також представляється оптимізація процесу на основі машинного навчання та якісна оцінка системи в цілому.

Проект SmartBeet німецьких дослідників мав на меті розробити сенсорну систему, яка б могла виявляти пошкодження буряків очисними робочими органами збирального комбайна та допомогати оператору захистити коренеплоди навіть від невеликих пошкоджень, забезпечуючи найбільшу придатність для тривалого зберігання. Випробування тривалого зберігання в кліматичних контейнерах показали, що спричинена очищенням поломка кінчиків коренеплодів, досить тісно корелювала з втратами цукру і, отже, може служити загальним показником пошкоджень. Під час систематичного тесту на падіння важчий коренеплід (>700 г), який падав з висоти 2,5 м та вдарявся об землю кінчиком, викликав найбільшу поломку. Також проводилися польові експерименти з вимірювальними бобами, які мали форму буряків і були оснащені акселерометрами та датчиками поверхневого тиску. Вони показали, що, на додаток до інтенсивності удару, величина пошкодження залежить від типу і форми ударів. Поодинокі випадки пошкодження коренеплоду буряка були ідентифіковані з відеозаписів, знятих високошвидкісними камерами. Часові сегменти та відповідні синхронізовані частотні спектри, представлені швидким перетворенням Фур'є, були використані при отриманні певних змінних ознак для розробки моделі машинного навчання [5]. Таким чином, за допомогою цифрової двовимірної візуалізації в поєднанні з системою бачення на основі методів згорткової нейронної мережі (CNN) вченим вдалося автоматично виявляти пошкодження цукрових буряків у бурякозбиральній машині. Вони отримали зображення перебігу процесу пошкодження коренеплодів під час збирання врожаю комбайном за різних агротехнічних і технологічних умов. З високою точністю і продуктивністю доведено, що механічні пошкодження цукрових буряків під час збирання негативно впливають на якість кінцевої продукції та вихід цукру [6].

У досліджах [7] за допомогою ударних випробувань визначено вплив часу зберігання коренеплодів буряків цукрових на їх сприйнятливості до навантажень ударного типу. Для цього конічні та циліндричні зразки певних розмірів піддавались ударам. За швидкості удару 1 м/с з часом в тканині на обох кінцях зразка вимірювали зміну сили відгуку безпосередньо після збору врожаю та після 24, 48, 96 і 120 годин зберігання. Визначались напруження та деформація руйнування, енергія удару, поглинена енергія, модуль Юнга, швидкість ударної хвилі. Через 120 год зберігання спостерігалось падіння середніх значень необхідної для пошкодження зразків енергії на 40%. Крім важливості вибору терміну збирання урожаю з врахуванням зрілості буряків цукрових залежно від температури, опадів, географічного району та інших навколишніх і кліматичних умов, експеримент підтвердив шкідливість ударних навантажень на коренеплоди при викопуванні.

Українські дослідники теоретично обґрунтували переваги шнекового очисника перед бітерними в раціональних межах вибору його основних

структурно-кінематичних параметрів за умов забезпечення мінімального ураження буряків У роботі [8] на основі експериментальних досліджень процесу видалення залишків гички з коренеплодів побудовано гістограму та полігон для функції щільності ймовірності випадкових величин довжини листових решток на головках коренеплодів. Отримано диференціальний закон для функції щільності ймовірності довжини листових решток після зачистки циліндричними вальцями, наближену лінійну залежність у вигляді рівняння регресії, яке описує зміну довжини листових решток на головках коренеплодів залежно від діаметра та швидкості обертання вальців. У [9] представлено математичну модель процесу доочищення коренеплодів на основі якої встановлено вплив як керованих, так і некерованих чинників на якісне забезпечення безперервного переміщення та доочищення коренеплодів робочими органами коренезбиральної машини з можливістю їх регулювання відповідно до природно-кліматичних умов.

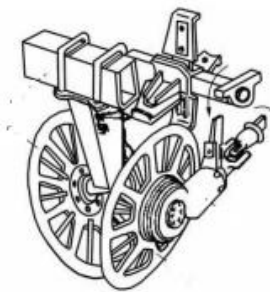
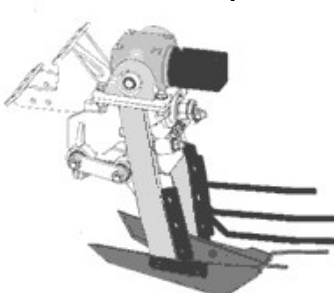
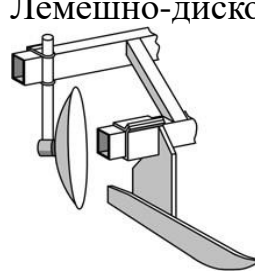
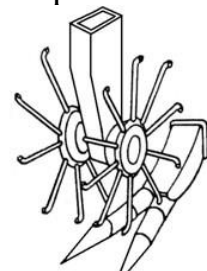
Мета і методи. Метою дослідження є проведення класифікації й аналізу конструктивно-технологічних схем існуючих копачів задля визначення прототипу і розробки пристрою для ефективного первинного очищення коренеплодів під час їх викопування.

Дослідження проводились методами прикладної геометрії, землеробської механіки, лабораторно-польовим, дисперсійного аналізу з використанням програмного додатку MS Excel. Проби вороху коренеплодів відбирались відповідно до методики Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України [10].

Основна частина. Результати проведеної класифікації викопувальних робочих органів за типами показали, що серед всієї сукупності сучасних комбайнів, самохідних і причіпних коренезбиральних машин як зарубіжного, так і вітчизняного виробництва, найбільш поширеними є ті, що оснащені дисковими копачами: Holmer, Vervaet, Parma, Grimme, Amity, РКМ-6-01 (ТОВ «Дніпромаш-Інвест»), КС-6 та її модифікації (ВО «ТеКЗ») (таблиця 1).

Перевагами дискових копачів (тип 1, таблиця 1), які підтверджуються результатами експериментальних досліджень, є спроможність добре кришити ґрунт при малій кількості його забору, надійність і висока продуктивність роботи, у тому числі на важких ґрунтах та сильно забур'янених ділянках поля. Експлуатація таких викопувальних робочих органів можлива на вищих швидкостях у порівнянні з лемешковими чи вильчастими копачами при забезпеченні кращих показників технологічної надійності виконання процесу викопування коренеплодів і якості первинного очищення викопаних коренеплодів від залишків ґрунту, гички та кореневищ бур'янів [11, 12].

Копачі сучасних коренезбиральних машин

<i>Тип копача</i>	<i>Фірма - виробник, марка машини /комбайна/</i>
<p>1. Дисковий</p> 	<p>Alloway, Amity WIC 2300/2500/2700, Art's Way 4600, 6812A, Parma 2200/2700/2900, Wil-Rich Red River 430/622/630/822, Grimme Maxtron 620, Rootster 604, Holmer Terra Dos, Vervaet 17T, Beet Eater 617, Garford Victor, Standen Spectrum MK2, Edenhall 743, 744, Thyregod T7, T9, TT 800, TIM SR 2500, MII SA/TE 120, MIII-SH1204, KRB/S 212, Juko100, XJ100, XJ200, Ölçer Hidro Elektrik Kumandalı (Diskli), ДКЗ РКМ-6, РКМ 6-02/05, РКМ 6-07, МКР-2-3, КСП-2, ТеКЗ КСБ-6, МКП-6, КС-6Б, КС6Б-01, КС-6Б-10.</p>
<p>2. Лемешно-вібраційний</p> 	<p>Holmer Terra Dos, Kleine KR-2, KR-6, K 6 II G, SF 10.2, SF 20, Ropa euro-Tiger V8-3, Stoll V100, V202, V300, V300SF, 600 SF, Franquet Tetra, TE 6, TE 2/3, Herriau TH-5, SCORE II, IPS Construction 12R, Matrot M 41H, Magister, M 2011 plus, Moreau ARC 6S, GR4005, Lectra 4005, Lectra V2, Lexxis, Voltra Cobra, Xerris, Voltra 6-24, Suptra 9.12, Riecam 400 T, Vervaet 17T, Beet Eater, Agrifac 9000S, ZA 215 EH, WKM Big Six, HEXA, Dewulf Beeta 6, Orbitt, Gilles ASC 49, AS 80, Barigelli B1 4×4-S, Europa 4×4, B3 4×4-S, B/6-4×4-S, B/6-S, B/6C-45/50, Bassi Mb6S, Fontani EF/6V, Mazzotti MB6S, MB2200, Rimeco B3 4×4, Stacmec SV 6F45/50, RTV 6F45/50, Edenhall 734, 743, 744, Thyregod T7, T9, TT 800, TIM SR 2500, MII SA/TE 120, KRB/S 212, Juko XJ200, Alparslan ALP-03HM, Altinörs A3, C1061, CD2000B, D2000S, D2000THO, HD1700, Ayhan Dündar AD1500, AD2200, Barış, Bayramoğlu, Dündar B-HE, YD-HE, Ekerler E2000, EH2000, E3000, EH3000, E5000, Ertuğrullar, Harmak PHM-2, Köylü KSBH 03, Ormak, Ölçer Hidro Elektrik, Hidrolik Kumandalı Mekanik, Özen İş KPHM-4, KPHM-5, Sonmezler Collina-S, PH-Mini, PH01, Torunoğlu H4200, S3400, L3200, Cadusa, Fuertes FAR, Guerra ARH3, Mace RT 307/310/314, Madim 3000H, 3500, M6, M10, Majevisa M519, Moldagrotehnica MSS-6, БОРЕКС КНБ6, КВЦБ-1,2, ДКЗ РКМ 6-05/07, ТеКЗ КСБ-6, КС-6Б-03, КС-6Б-10, МКП-6, МКП-4.</p>
<p>3. Лемешно-дисковий</p> 	<p>Herriau TH-5, Matrot M 41H, Magister, Moreau ARC 6D, GR4005, Lectra 4005, Lectra V2, Lexxis, Voltra Cobra, Xerris, Suptra 9.12, Gilles AD 49, AD 80, Dewulf Beeta 6, Agri-Service, CMG Beet-Lift, Beet-Lift 8, Cadusa, Majevisa ADS, M-520, Moldagrotehnica MRS-6, Ніжинський МЗ СУМ6, КСН 2-050, ТеКЗ КС-6Б-07, Уманьферммаш АЗК-6.01, АОМЗ АС-1.</p>
<p>4. Роторно-вилчастий</p> 	<p>ДКЗ РКС-6, МКК-6-02, РКМ 6, РКМ 6-01/05/07, ТеКЗ КСБ-6, КС-6Б01/02, МКП-6, МКП-4</p>

Навивка прототипу шнека-транспортера 2 (рис. 1, а) виконана по гвинтовій лінії і являє собою поверхню прямого гелікоїда з постійним кроком. Польовими експериментами доведено, що очищувальна здатність бітерного пристрою, який виключно за рахунок ударної дії перекидає ворох коренеплодів, є низькою, а при роботі шнека з гвинтовою навивкою, коренеплоди разом з грудками землі, рослинними та ґрунтовими рештками скупчуються у задній зоні шнека, особливо на забур'янених, твердих чи перезволожених ґрунтах, що призводить до зниження продуктивності виконання ТП викопування та погіршення очищення коренеплодів

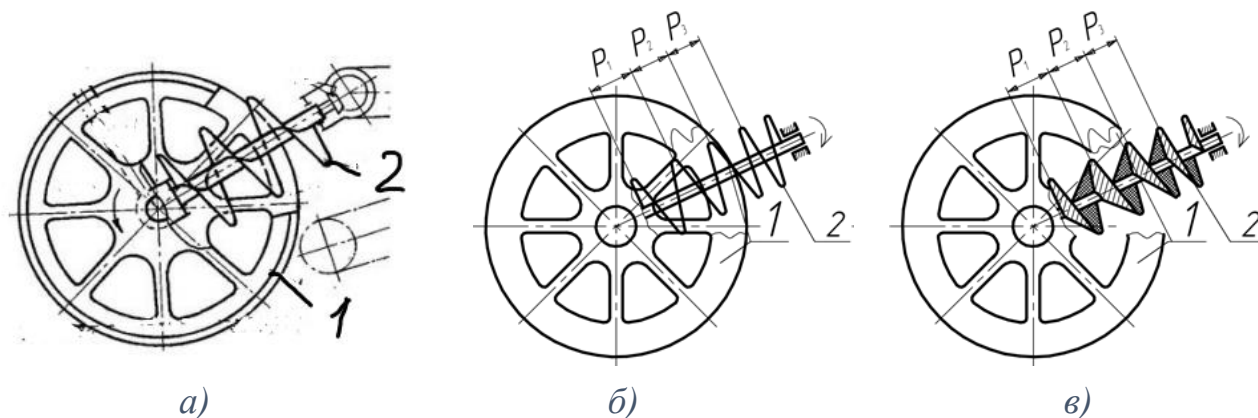


Рис. 1. Схеми дискових копачів (вид зправа) з прямим гелікоїдальним шнеком-очисником постійного кроку навивки (прототип) (а), змінного (б) та похилим гелікоїдом змінного кроку (в)

Дисковий копач з гелікоїдальним шнеком змінного кроку.

З метою підвищення швидкості транспортування і якості очищення щойно викопаних коренеплодів від ґрунтових і рослинних залишків, розроблений копач [13], в основу якого поставлено вдосконалення транспортуючого шнека-очисника.

Конструктивною особливістю шнека 2 (рис. 1, б), є зменшення кроку навивки P в напрямку від центра дисків до їх периферії:

$$P_1 > P_2 > P_3 \quad (1)$$

При обертанні шнека будь-яка уявна точка A його гвинтової поверхні, перемістившись у перпендикулярній до осі шнека площині із положення A_1 в положення A'_1 опише деяку дугу повного оберту $A_1 \cup A'_1$, а у площині рисунка відповідно переміститься вздовж цієї ж осі на відстань (долю кроку P) $A_2 A'_2$, що можна подати у вигляді формули:

$$A_1 \cup A'_1 / 360^\circ = A_2 A'_2 / P \quad (2)$$

звідки

$$A_1 \cup A'_1 = A_2 A'_2 \times 360^\circ / P \quad (3)$$

Врахувавши (1), отримаємо обернену залежність: із зменшенням кроку шнека збільшується швидкість обертання його робочої поверхні в результаті чого покращується якість очищення коренеплодів.

Дисковий копач зі шнеком у формі похилого гелікоїда змінного кроку.

Подальші польові експериментальні дослідження показали, що при роботі на вологих і перезволожених ґрунтах, що є досить характерними ґрунтово-кліматичними умовами для осінньої пори року, шнек копача, виконаний у формі прямого гелікоїда з твірною, перпендикулярною до його осі, не досить ефективно здійснює технологічний процес транспортування щойно викопаних коренеплодів з одночасним їх очищенням від ґрунту та залишків бур'янів й гички, оскільки за таких умов сила тертя ковзання маси оберемка вороху коренеплодів по робочій поверхні шнека суттєво зменшується і оберемок вороху коренеплодів, що включає також гичку та інші рослинні залишки, скупчується у задній частині шнека, що призводить до частих забивань копача і зупинок у роботі.

Поверхня шнека копача [14] (рис. 1, в) – похилий гелікоїд 2, твірна якого утворює гострий кут з віссю. Форма робочої поверхні шнека є такою, що крок його гвинтової навивки і нахил твірної у напрямку виконання технологічного процесу плавно зменшуються внаслідок чого підвищується кутова швидкість транспортування коренеплодів. При переміщенні оберемка вороху коренеплодів шнеком створюється поступове збільшення сили тертя завдяки чому зменшуються забивання та скупчення на його поверхні і покращується якість очищення коренеплодів.

В процесі роботи диски 1, установлені під кутом один до одного, перекочуючись у ґрунті на глибині 8–12 см, викопують коренеплоди і передають їх у зону шнека 2, який, обертаючись, очищає коренеплоди від ґрунту, бур'янів і залишків ґрунту та подає їх для подальшої обробки машиною. Завдяки запропонованій формі робочої поверхні шнека, крок його гвинтової навивки і нахил твірної зменшуються у напрямку виконання технологічного процесу. Якість очищення коренеплодів підвищується за рахунок плавного зменшення кута нахилу твірної шнека до його осі, коли створюється поступове підвищення кутової швидкості транспортування вороху коренеплодів та збільшення відцентрової сили тертя в результаті дії робочої поверхні шнека на оберемок вороху коренеплодів.

Експериментальні польові дослідження копачів.

Експериментальні дослідження на однорядній установці, навішеній на трактор ЮМЗ-7071, проводились у ДП «Дослідне господарство Шевченківське» НААН [12].

Копачі приводились в обертальний рух від ВВП трактора через ланцюговий редуктор. Заглиблення копачів регулювалось опорними колесами.

Проби вороху коренеплодів відбирались у 4-разовій повторності. Викопана проба після очисника потрапляла на поліетиленову плівку, що мимовільно розгорталась слідом за копачем, і відповідно до методики

ІБКіЦБ розділялась на фракції: 1) коренеплоди (непошкоджені, тобто обрив хвостової частини на діаметрі не більше 1 см за відсутності бокових розривів; пошкоджені слабо – діаметр хвостової частини до 3 см і дуже – діаметр більше 3 см, бокові розриви глибиною більше 1 см); 2) грудки землі (діаметром до 50 мм, більше 50 мм); 3) рослинні залишки (гичка, бур'яни). Обробка даних експериментів проводилась дисперсійним аналізом.

Як видно з рис. 2, за твердості ґрунту вище 3,5 МПа маса грудок землі діаметром понад 50 мм у разі використання експериментальних гелікоїдальних шнеків суттєво зменшувалась як у варіантах між собою (для прямого і похилого гелікоїдів), так і відносно контрольного варіанта (12,3 %, 16,9 % проти 19,8% за $HP_{05} = 2,5$ %).

За твердості ґрунту 4,0–4,5 МПа забрудненість грудками зменшувалась майже вдвічі (17,9 %, 18,5 % проти 35,7 %).

Вміст домішок у вигляді зеленої маси (гички і залишків бур'янів) (рис. 3) та кількість пошкоджених коренеплодів (рис. 4) були найнижчими (1,7 % та 4,3 % відповідно) у разі використання похилого гелікоїдального шнека, що виявилось суттєво нижчим показником проти бітерного пристрою за показником зеленої маси (6,9%, $HP_{05} = 3,4$ %) і нижчим (на 0,2 %) – за рівнем пошкоджених коренеплодів.

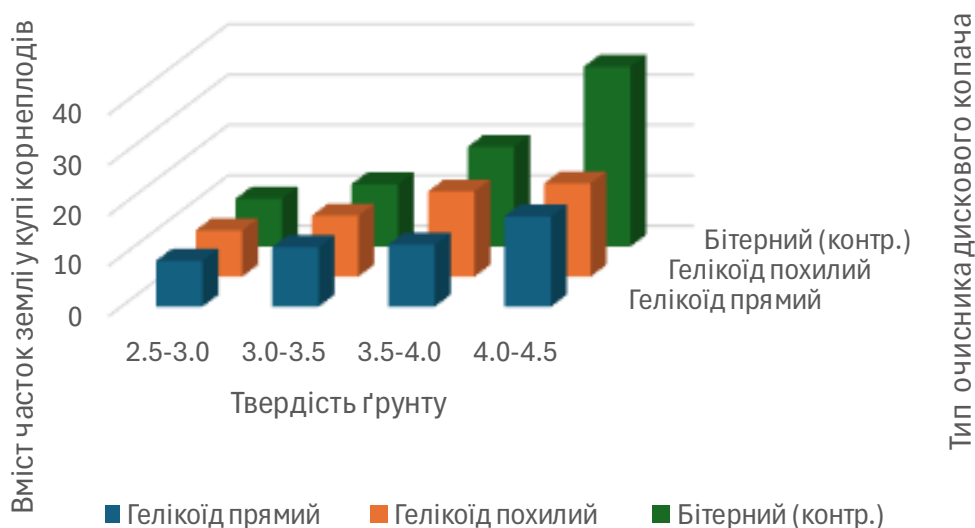


Рис. 2. Вплив твердості ґрунту і типу очисника копача на утворення часток землі діаметром > 50 мм (глибина підкопування 8-10 см)

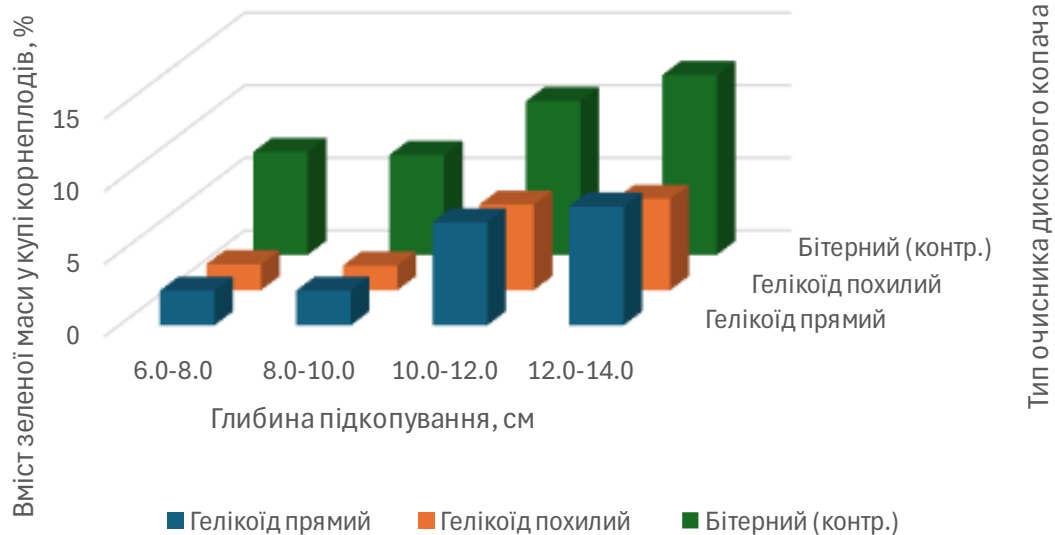


Рис. 3. Вплив глибини підкопування і типу очисника копача на кількість гички і зеленої маси у купі коренеплодів (твердість ґрунту 2,5-3,0 МПа)

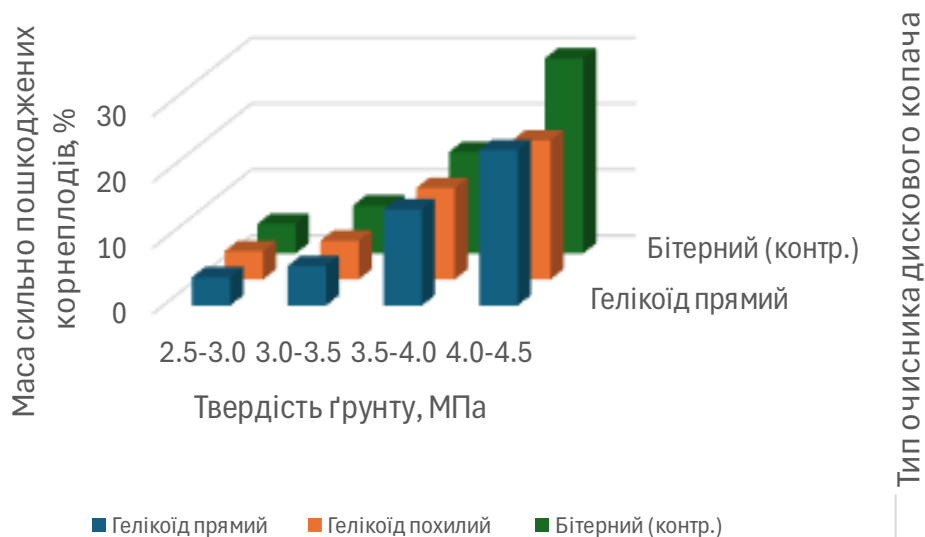


Рис. 4. Вплив твердості ґрунту і типу очисника копача на ступінь пошкодження коренеплодів при викопуванні (глибина 8-10 см)

При роботі всіх типів копачів на ґрунтах підвищеної твердості (понад 3,5 МПа) кількість дуже пошкоджених коренеплодів різко збільшується, хоча гелікоїдальні очисники отримують суттєву перевагу над бітерними. Так, зокрема, за твердості 4,0–4,5 МПа кількість пошкоджених коренеплодів похилим гелікоїдальним шнеком досягла 21,1 %, прямим – 23,6 %, бітерним очисником – 29,6 % за $HP_{05} = 2,7\%$ (рис. 4.12).

Висновки та перспективи досліджень. Розробка нових робочих поверхонь очисників дискових копачів у вигляді гелікоїдальних шнеків, здатних у складних умовах збирання буряків цукрових виконувати інтенсивне первинне очищення від землі і гички викопаних коренеплодів, і,

як наслідок, забезпечувати збереження родючості ґрунтів при збиранні урожаю, є доцільною.

Експериментами встановлено, що використання гелікоїдальних робочих поверхонь шнеків за підвищеної твердості ґрунту 4,0–4,5 МПа забезпечує суттєве зменшення забрудненості коренеплодів грудками землі як у варіантах між собою (прямий, похилий гелікоїди), так і відносно контролю (бітерний очисник) (12,3 %, 16,9 % проти 19,8 % за НІР₀₅ = 2,5 %).

Показники вмісту домішок у вигляді зеленої маси (гички та залишків бур'янів) і кількості пошкоджених коренеплодів є найнижчі (1,7 % та 4,3% відповідно) у разі використання похилого гелікоїдального шнека, що суттєво нижче проти бітерного пристрою за показником зеленої маси (6,9%, НІР₀₅ = 3,4 %) і несуттєво (0,2 %) – за показником пошкоджень коренеплодів.

За твердості 4,0–4,5 МПа маса пошкоджених коренеплодів похилим гелікоїдальним шнеком зменшувалась до 21,1 %, прямим – до 23,6 %, за 29,6% (НІР₀₅ = 2,7 %) пошкоджень на контролі (бітерний очисник).

Експериментальні зразки копачів з гелікоїдальними шнеками апробовані у ДП ДГ «Шевченківське» і прийняті до впровадження на ПАТ «БОРЕКС».

Література

1. Машини бурякозбиральні. Загальні технічні умови: ДСТУ 2285-93 (ГОСТ 7496-93). [Чинний від 1995. 01. 01]. Київ. Держспоживстандарт України. 1995. 28 с. (Національний стандарт України).
2. Буряки цукрові. Збирання. Показники якості та методи їх визначання. ДСТУ 7062:2009. [Чинний від 2009-01-01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2008. 9 с. (Національний стандарт України).
3. Коренеплоди цукрового буряка для промислового переробляння. Технічні умови: ДСТУ 4327:2013. [Чинний від 2014-01-01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2013. 9 с. (Національний стандарт України).
4. Schwich, S.; Schattenberg, J.; Frerichs, L. (2020). Development of a Machine Learning-based Assistance System for Computer-Aided Process Optimization within a Self-Propelled Sugar Beet Harvester. *In Proceedings of the 2020 ASABE Annual International Virtual Meeting*, 13–15 July 2020; p. 2000952. Available online: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=51512>.
5. Ulrike Wilczek, Boris Kulig, Heinz-Josef Koch, Roman Kälberloh, Oliver Hensel. (2021). Sensor system development for low-damage sugar beet harvesting – state and perspectives. *Sugar Industry/Zuckerindustrie*. Vol.: 145. No.: 5 Page: 299 – 306. <https://doi.org/10.36961/si24377> {Language: German}.
6. Nasirahmadi, A.; Wilczek, U.; Hensel, O. (2021). Sugar Beet Damage Detection during Harvesting Using Different Convolutional Neural Network Models. *Agriculture*, 11, 1111. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111111>.

7. Kołodziej, P.; Gołacki, K.; Boryga, M. (2019). Impact characteristics of sugar beet root during postharvest storage. *Int. Agrophysics*. 33, 355–361. <https://doi.org/10.31545/intagr/110810>
8. Baranovsky V., Dubchak N., Pankiv M. (2017). Experimental research of stripping the leaves from root crops. *Acta Technologica Agriculturae*. Vol. 20. No. 3. P. 69–73. <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0014>.
9. Hevko R. B et al. (2017). Mathematical model of a root harvester after-cleaning system. *Bulletin of Karaganda University*.. Vol. 96. No. 4. P. 81–89. <https://doi.org/10.31489/2019M4/81-89>.
10. Методики проведення досліджень у буряківництві. Київ. ФОП Корзун Д. Ю. 2014. 374 с.
11. Барановський В., Тручанська О., Паньків М., Бандура В. (2020). Дослідження контактного впливу коренеплоду шнековим шнеком. *Дослідження в сільськогосподарській інженерії*, 66 (№ 1), 33–42. <https://doi.org/10.17221/75/2017-rae>.
12. Волоха М.П. Експериментальні дослідження якості роботи нової поверхні шнека копача коренеплодів цукрових буряків /*Вісник Інженерної академії України*. 2018. № 2. С. 149–152.
13. Патент на корисну модель № 59726 Україна, МПК А01D 25/04(2006.1). Робочий орган для викопування коренеплодів. В. П. Юрчук, М. П. Волоха, Л. В. Болдирєва; заяв. 16.11.2010; опуб. 25.05.2011. Бюл. № 10.
14. Патент на корисну модель № 78042 Україна, МПК(2013.01) А01D 25/00. Копач для коренеплодів. М. П. Волоха, Л. В. Болдирєва; заяв. 17.07.2012; опуб. 11.03.2013. Бюл. № 5.

References

1. Mashyny buryakozbyral'ni. Zahal'ni tekhnichni umovy: DSTU 2285-93 (HOST 7496-93). [Chynnyy vid 1995. 01. 01]. Kyiv. Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. 1995. 28 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny). {in Ukrainian}
2. Buryaky tsukrovi. Zbyrannya. Pokaznyky yakosti ta metody yikh vyznachannya. DSTU 7062:2009. [Chynnyy vid 2009-01-01]. Kyiv. Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. 2008. 9 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny). {in Ukrainian}
3. Koreneplody tsukrovoho buryaka dlya promyslovoho pereroblyannya. Tekhnichni umovy: DSTU 4327:2013. [Chynnyy vid 2014-01-01]. Kyiv. Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. 2013. 9 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny). {in Ukrainian}
4. Schwich, S.; Schattenberg, J.; Frerichs, L. (2020). Development of a Machine Learning-based Assistance System for Computer-Aided Process Optimization within a Self-Propelled Sugar Beet Harvester. *In Proceedings of the 2020 ASABE Annual International Virtual Meeting*, 13–15 July 2020; p. 2000952. Available online: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=51512>. {in Ukrainian}

5. *Ulrike Wilczek, Boris Kulig, Heinz-Josef Koch, Roman Kälberloh, Oliver Hensel.* (2021). Sensor system development for low-damage sugar beet harvesting – state and perspectives. *Sugar Industry/Zuckerindustrie*. Vol.: 145. No. 5. Page: 299 – 306. <https://doi.org/10.36961/si24377> {Language: German}.
6. *Nasirahmadi, A.; Wilczek, U.; Hensel, O.* (2021). Sugar Beet Damage Detection during Harvesting Using Different Convolutional Neural Network Models. *Agriculture*, 11, 1111. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111111>.
7. *Kołodziej, P.; Gołacki, K.; Boryga, M.* (2019). Impact characteristics of sugar beet root during postharvest storage. *Int. Agrophysics*. 33, 355–361. <https://doi.org/10.31545/intagr/110810>
8. *Baranovsky V., Dubchak N., Pankiv M.* (2017). Experimental research of stripping the leaves from root crops. *Acta Technologica Agriculturae*. Vol. 20. No. 3. P. 69–73. <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0014>.
9. *Hevko R. B et al.* (2017). Mathematical model of a root harvester after-cleaning system. *Bulletin of Karaganda University*. Vol. 96. No. 4. P. 81–89. <https://doi.org/10.31489/2019M4/81-89>.
10. *Metodyky provedennya doslidzhen' u buryakivnytstvi.* Kyiv. FOP Korzun D. YU. 2014. 374 s. {in Ukrainian}
11. *Baranovs'kyi V., Truchans'ka O., Pan'kiv M., Bandura V.* (2020). Doslidzhennya kontaktnoho vplyvu koreneplodu shnekovym shnekom. *Doslidzhennya v sil's'kohospodars'kiy inzheneriyi*, 66 (№ 1), 33–42. <https://doi.org/10.17221/75/2017-rae>.
12. *Volokha M.P.* Eksperymental'ni doslidzhennya yakosti roboty novoyi poverkhni shneka kopacha koreneplodiv tsukrovykh buryakiv. *Visnyk Inzhenernoyi akademiyi Ukrayiny*. 2018. № 2. S. 149–152. {in Ukrainian}
13. Patent na korysnu model' № 59726 Ukrayina, MPK A01D 25/04(2006.1). Robochyy orhan dlya vykopuvannya koreneplodiv. *M.P. Volokha, V.P. Yurchuk, L.V. Boldyryeva*; zayav. 16.11.2010; opub. 25.05.2011. Byul. № 10.
14. Patent na korysnu model' № 78042 Ukrayina, MPK(2013.01) A01D 25/00. Kopach dlya koreneplodiv. *M.P. Volokha, L.V. Boldyryeva*; zayav. 17.07.2012; opub. 11.03.2013. Byul. № 5.

Doctor of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher **Mykola Volokha**,
volmp@i.ua, ORCID: 0000-0002-0112-7324

Doctor of Technical Sciences, Professor **Gennady Virchenko**,
kpivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Petro Yablonskyi**,
ypn@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1971-5140

Senior Teacher **Margarita Lazarchuk**,
mlazarchuk@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6192-6825

Graduate student **Yulia Lazarchuk-Vorobiova**,

GEOMETRIC MODELS OF CLEANING SCREWS OF DISC DIGGERS OF ROOT GATHERING MACHINES

A significant problem of the sugar beet harvesting process, as the most expensive component of the entire technology, is the contamination of the root crop heap with soil, especially when machines operate on hard (over 4.0–4.5 MPa) soils, when the number of unexcavated root crops increases sharply to 13–15% and up to 40% of the root crops are dug up damaged, especially due to impact stresses. In addition, under such difficult harvesting conditions, a significant amount of fertile soil is removed from the fields in the form of lumps. Obviously, an important national economic problem of preserving soil fertility arises, which can be solved by cleaning the heap of excavated root crops directly in the field, i.e. by primary cleaning of the root crops during the work of the diggers.

Another equally important problem that arises during the processing of raw sugar is the contamination of the root crop pile with the remains of tops and weeds. It has been established that the physical contamination of the collected root crops in excess of the regulatory indicators of state standards for their processing negatively affects the quality of raw sugar, because foreign impurities and root crops that are severely damaged, including by diseases and pests, interfere with the extraction of sugar. In general, with prolonged factory storage (more than 60 days) of root crops that are severely damaged and contaminated with soil and plant residues, the condition of the raw material significantly deteriorates due to damage by root rot, and sugar losses increase rapidly. According to Dr. of Agriculture and G. Science Ionitsa Yu.S. Each percent of green mass on root crops leads to a decrease in the quality of the diffusion juice by 0.4–0.5% and an increase in the sugar content in molasses by 0.1%. Therefore, the development of a device for the primary cleaning of the dug pile of root crops, built into the digger scheme, is relevant. The article, based on the results of experimental studies, establishes that the use of helicoidal working surfaces of augers under conditions of increased soil hardness provides a significant reduction in the contamination of dug root crops with clods of earth and green mass residues and the number of damaged root crops compared to the serial biter cleaner of a disk digger.

Experimental samples of diggers with helicoidal augers have been tested in a pilot farm and accepted for implementation at PJSC "BOREX".

Keywords: sugar beets; pile of root crops; device for primary cleaning; helical line; winding pitch.