

Борис М.М.

к.т.н., доцент

Мартинюк А.В.

к.т.н., доцент

**Хмельницький
національний
університет****Троханяк О.М.**

к.т.н., доцент

**Національний
університет біоресурсів і
природокористування
України****Солона О.В.**

к.т.н., доцент

**Вінницький національний
аграрний університет****Borys M.**

Ph.D., Associate Professor

Martynyuk A.

Ph.D., Associate Professor

**Khmelnytskyi National
University****Trokhaniak O.**

Ph.D., Associate Professor

**National University of
Bioresources and Nature
Management of Ukraine****Solona O.**

Ph.D., Associate Professor

**Vinnitsia National Agrarian
University**

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ГИЧКИ ТА КОРЕНЕПЛОДІВ
БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ © 2026 by Борис М.М.,
Мартинюк А.В., Троханяк О.М., Солона
О.В. ліцензовано згідно з СС BY 4.0

УДК 631.356. 22**DOI: 10.37128/2306-8744-2026-2-13****ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІКО-
ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ГИЧКИ ТА
КОРЕНЕПЛОДІВ БУРЯКІВ
ЦУКРОВИХ**

У статті наведено результати дослідження морфологічних та механічних характеристик черешка листка цукрового буряка як об'єкта механізованого видалення під час збирання коренеплодів. Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення якості очищення головок коренеплодів від залишків гички та зменшення втрат урожаю в процесі роботи бурякозбиральних машин.

Досліджено форму та будову черешка коренеплоду з погляду оцінки можливостей його механічного руйнування. Встановлено, що черешок характеризується змінною геометрією поперечного перерізу, яка суттєво залежить від відстані до верхини головки коренеплоду. Аналіз поперечних перерізів показав закономірну зміну їх форми та розмірів у напрямку від головки до листкової пластинки, що необхідно враховувати під час обґрунтування конструктивних параметрів робочих органів машин для очищення головок коренеплодів.

У роботі визначено функціональні залежності між діаметром коренеплоду, висотою виступання його головки над поверхнею ґрунту та висотою розташування зони зеленого листя. Отримані залежності дозволяють прогнозувати положення залишків гички відносно поверхні головки та обґрунтовувати раціональні режими роботи очисних пристроїв. Встановлено, що геометричні параметри головки та черешків істотно впливають на якість очищення коренеплодів.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що твердість поверхневого шару гички на відстані 0-5 мм від головки коренеплоду відрізняється від твердості поверхні самої головки в зоні зеленого листя та сплячих вічок лише на 20-30 % і практично відповідає твердості її верхньої частини. Це свідчить про можливість ефективного механічного видалення залишків гички без суттєвого пошкодження коренеплоду за умови правильного вибору конструктивних і режимних параметрів очисних робочих органів.

Отримані результати можуть бути використані під час удосконалення машин для збирання цукрових буряків та розроблення нових конструкцій очисників головок коренеплодів.

Ключові слова: цукрові буряки, гичка, збирання, залишки гички, коренеплід, очисник головок коренеплодів.

Постановка проблеми. У сучасній технології при викопуванні цукрових буряків гичка відокремлюється від коренеплодів. Необхідною умовою відокремлення є наявність

різниці у їх властивостях. Відокремлення гички зрізальними апаратами відбувається на основі агрофізичних властивостей посівів та різниці механіко-технологічних властивостей

коренеплодів і гички. При відокремленні гички очисниками головок коренеплодів проходить розділення гички та цукроносної маси коренеплоду на основі різниці їх міцності та тривалості взаємодії. Проведення експериментальних досліджень процесів збирання характеризується значними затратами часу. Тому поглиблення дослідження механіко-технологічних властивостей гички та коренеплодів цукрових дозволить провести теоретичне моделювання процесу збирання, що сприятиме розробленню нових технологічних процесів та робочих органів.

Аналіз останніх публікацій та досліджень. Вивчення агрофізичних показників посівів і механіко-технологічних властивостей коренеплодів висвітлено у працях Л. В. Погоріло, В. М. Булгакова, М. М. Зуєва, М. В. Татянка, М. М. Хелемендика, М.О. Гандзюка, Р. Б. Гевка, Г. А. Хайліса, В. Я. Мартиненка, та ін. Дані дослідження свідчать про сильні варіювання властивостей посівів і коренеплодів [1-6]. Проте існуючих даних недостатньо для теоретичного моделювання процесів відокремлення гички.

Мета дослідження. Вивчення будови, форми та міцності в різних зонах головки коренеплоду та гички. А також встановлення функціональних зв'язків між параметрами коренеплодів та посіву з метою побудови теоретичних моделей процесу та подальшого моделювання технологічного процесу відокремлення гички.

Результати досліджень та їх обговорення. Форму та будову черешка розглянемо з погляду вивчення можливостей його механічного руйнування. Черешок значно змінює форму свого перерізу залежно від відстані до вершини головки коренеплоду буряку (рис. 1).

Відстань від перерізу до головки, мм	0	10	20		
Форма перерізу					
Відстань від перерізу до головки, мм	30	40	50	60	70
Форма перерізу					
Відстань від перерізу до головки, мм	80	90	100	110	120
Форма перерізу					
Відстань від перерізу до головки, мм	130	140	150	160	170
Форма перерізу					

Рис. 1. Форма та площа поперечного перерізу черешка

Найбільш інтенсивно форма змінюється на відстані 0...20 мм від головки, вона переходить від ребристого сегмента до шестикутника, один з кутів цього шестикутника розміщений вершиною

до середини перерізу. Таку форму поперечного перерізу черешка біологи називають розсічено-серцевидною. Переріз черешка у вигляді шестикутника такої форми зберігається надалі на всій відстані до листової пластинки. Внаслідок наявності такої форми черешок має достатню жорсткість для утримання масивної листової пластинки. Проведено дослідження площі поперечного перерізу черешків вершини, середніх та нижніх рядів гички (рис. 2).

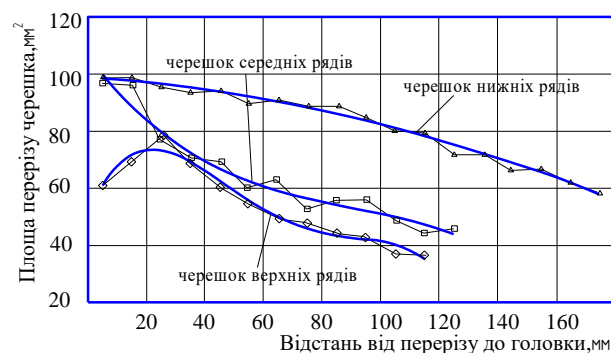


Рис. 2. Графік зміни площі поперечного перерізу черешків в залежності від відстані до головки коренеплоду буряку

Біля головки площа поперечного перерізу крайніх черешків є максимальною, при цьому вони не опираються на інші черешки. Така біологічна особливість зумовлює збільшення площі перерізу і, відповідно, підвищення жорсткості, необхідної для утримання листової пластинки. Площа поперечного перерізу основи черешків середніх рядів є близькою до відповідного показника зовнішніх черешків. Площа внутрішніх черешків є значно меншою біля основи. У випадку, коли площа перерізу черешків зовнішніх та середніх рядів має максимальне значення біля основи і зменшується в напрямі листової пластинки, то переріз внутрішніх черешків зростає на відстані 0...20 мм від основи, а потім спадає. Площі перерізів зовнішніх і середніх черешків задовільно описуються квадратичною залежністю, а внутрішніх - кубічною.

За механічною будовою поверхневий шар черешка має значну концентрацію судинно-волокнистих тканин і тому він є досить міцним (рис 3).

Проте внутрішній шар має меншу міцність внаслідок значно меншої концентрації механічних тканин. Завдяки цьому черешок являється анізотропним композитним тілом із змінним перерізом, яке характеризується модулями пружності в повздовжньому і поперечному напрямках. Така будова черешка при високому осмотичному тиску у клітинах значно збільшує його жорсткість, необхідну для утримання листової пластинки.

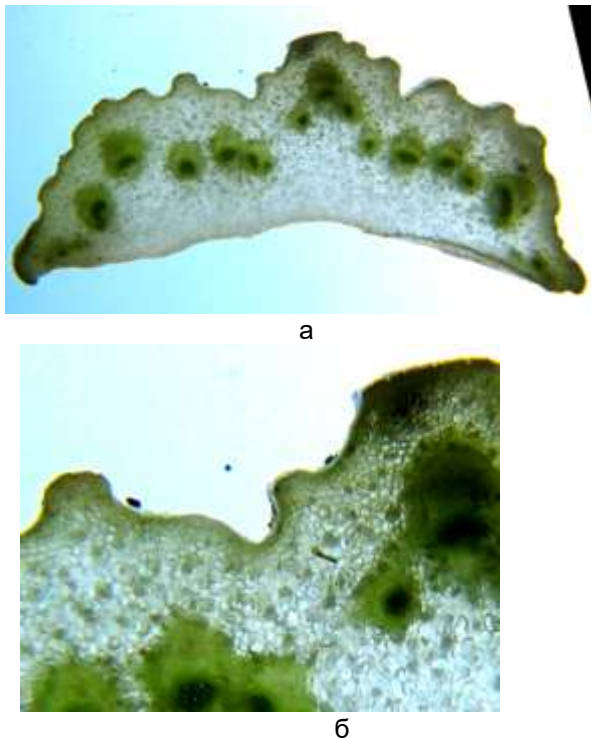


Рис. 3. Фото перерізу черешка і будова черешка.

Форма пучка гички. Встановлено, що гичка може мати конічну форму, а також форму розетки або напіврозетки.

Форма гички коренеплоду переважно визначається рівнем тургору, фазою дозрівання, умовами живлення та густотою стояння рослин. Сегментована будова черешка поблизу основи сприяє щільному їх розміщенню на головці та формуванню компактного і міцного пучка, який складно піддається руйнуванню.

Із віддаленням від головки, внаслідок морфологічних особливостей гички, щільність пучка зменшується. З урахуванням того, що під дією власної ваги листової пластинки черешок перебуває у початково напруженому стані, за високого тургору він набуває крихкості й руйнується під дією незначних навантажень. Зовнішні черешки, як правило, ламаються майже біля основи, тоді як внутрішні — на певній відстані від головки, де їх розміщення є менш щільним.

Часто під час дії робочого органа на пучок гички у напрямку до центру коренеплоду відбувається ефективне демпфування удару внутрішніми черешками. У результаті крайні черешки руйнуються ближче до основи, тоді як у наступних, у міру наближення до центру пучка, відбувається лише зчісування верхньої частини.

Із наближенням до центру величина зчесаних й розділених на волокна частин черешків зменшується. Зі сторони, протилежної обертанню валу ротора, черешки руйнуються

гірше, внаслідок чого слід застосовувати два очисних валів, які мають протилежні напрямки обертання. Найчастіше такий ефект проявляється на коренеплоді, який має малу висоту виступання головок, або головки яких розташовані нижче поверхні ґрунту. Зміна форми головки коренеплоду відбувається впродовж вегетаційного періоду. Вона змінюється на початкових етапах розвитку від сферично-приплюснutoї до сферичної на початку осені, і до випукло-конусоподібної форми наприкінці вегетації, у період збирання культури.

Для моделювання безкопійного зрізу, опираючись на дослідження проведені та власні дослідження, вважаємо, що найбільш доцільно моделювати головку зрізаним конусом. За нашими дослідженнями середнє значення кута конусності у період збирання (20 жовтня) склало 78° із середньоквадратичним відхиленням 18° . На рис.4 показано фото перерізу головки, із аналізу якого встановлено, що для зони зелених листків характерна волокниста структура, яка плавно переходить у головку.



Рис. 4. Зображенн морфологічної будови головки коренеплоду

Із аналізу морфологічної будови головки, можна зробити припущення про те, що існує невелика різниця між міцністю черешків та головки у ділянці їх розмежування.

При цьому через навіність опуклої форми головки коренеплоду буряка може виникнути погане очищення її сторони, протилежної до напрямку обертання ротора очисника. Для встановлення впливу опуклості головки коренеплоду на процес очищення від решток гички за допомогою лабораторної установки поставлено експеримент. Для цього була закріплена циліндричну дерев'яну модель на місці коренеплоду, при цьому встановлювали вісь циліндра паралельно до осі обертання ротора. Фіксування багатократної дії прогумованої лопати на модель здійснювалося за допомогою фотокамери.

За слідом взаємодії лопати з моделлю спостерігалася чітко окреслена зона контакту лише на частині поверхні з боку обертання ротора, що свідчить про неможливість ефективного прикладання зусиль до головки з протилежного напрямку обертання ротора. Також можна сказати, що отриманий вид плями контакту підтверджує факт нормального прикладання навантаження до головки коренеплоду і відсутності ефекту проковзування по всій головці.

Порівняння твердості черешків та головки коренеплоду проводилось наступним чином. За допомогою розробленого твердоміра (рис. 5) вимірювалася твердість головки коренеплоду буряка у різних зонах розташування зелених листків та визначалася твердість черешків на поверхні та для внутрішньої частини на різній відстані від головки. Твердість для внутрішньої частини вимірювали у напрямку перпендикулярному до площини поперечного перерізу. Для проведення заміру твердості головки коренеплоду черешки зчісувалися ножом до початку зникнення меж між їх основами. Твердість у цьому випадку характеризувалася величиною деформації пружини твердоміра у міліметрах, при якій відбувалось проникнення ідентора у головку коренеплоду чи тіло гички.

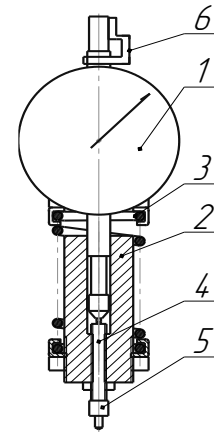


Рис. 5. Твердомір

Жорсткість пружини регулювалася попереднім її стисканням. Для порівняння твердості гички та головки коренеплоду попередній стиск пружини був однаковим. Діаграму твердості наведено на рис. 6.

Вимірювання твердості головки виконували як на поверхні у різних зонах головки, так і у шарах цих зон на глибину, яка дорівнювала значенню менше 15 мм. Встановлено, що максимальна твердість головки була у зоні зелених листків у шарі на глибині 5...10 мм, а мінімальна – на вершині головки у шарі на глибині 0...5 мм. Твердість зони сплячих вічок менша від твердості зони зелених листків, але складає незначну частину. Також визначено, що твердість вершини головки відрізняється від твердості решти зон на глибині 0...10 мм, ця різниця є меншою на глибині 10...15 мм. Твердості поверхні черешків біля основи та вершини головкимайже рівні між собою, при цьому відрізняються від твердості поверхонь зон зелених листків і сплячих вічок на 20...30%. Але на відстані 20...30 мм твердість поверхні черешків у два рази менша. Твердість внутрішньої частини черешків значно менша від твердості всіх зон головки. Із збільшенням відстані від головки коренеплоду твердість внутрішніх частини черешка знижується до відстані 30...40 мм від головки, а потім збільшується.

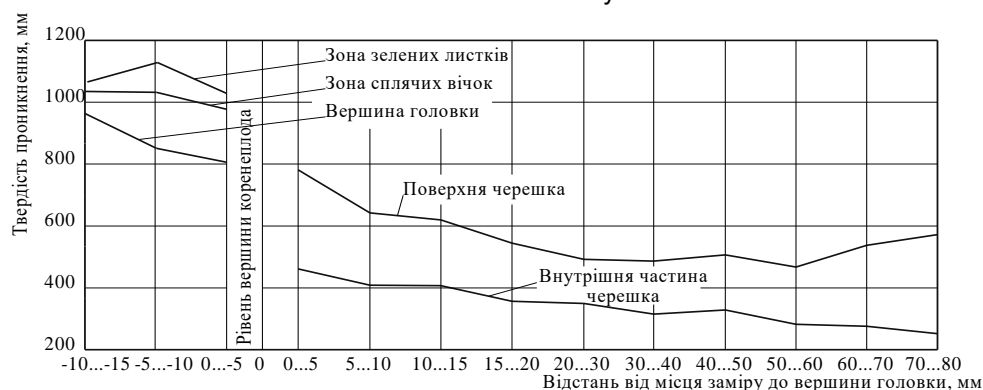


Рис. 6. Твердість черешків та зон головки коренеплоду



Під час виконання лабораторних досліджень процесу відокремлення решток гички коренеплоду спостерігалось легке її відокремлення на відстані 20...30 мм. Гичка на відстані меншій 10 мм дуже важко відокремлювалась, а то й взагалі не відокремлювалась від головки коренеплоду. За такими якісними показниками легко пояснюються твердість гички і коренеплоду.

Очевидно, можливості способу відокремлення гички, що ґрунтується на різній міцності коренеплоду та гички є досить обмеженими. Покращення якості процесу можна забезпечити за допомогою значного збільшення кількості менш інтенсивних взаємодій, або, навпаки, завдяки зменшенню кількості взаємодій при збільшенні їх інтенсивності шляхом використання додаткових пристроїв, що спрямовують дію робочих елементів у зону зелених листків. У другому випадку потрібно забезпечити синхронізацію частоти обертання ротора очисника та поступальної швидкості машини. При цьому слід врахувати, що внаслідок високої частоти обертання валу очисника та малої поступальної швидкості може виникати значне зростання пошкоджень коренеплодів.

Для обґрунтування режиму роботи очисника визначалась критична сила нормальної реакції пера копіра на коренеплід, при якій проходило руйнування поверхні головки коренеплоду. Значення зусилля руйнування поверхні головки коренеплоду показані в табл. 1.

Замір критичної твердості проводився за допомогою динамометра безпосередньо на лабораторній установці шляхом встановлення коренеплоду відповідною зоною до кривизни копіра. При заміряних відстанях від осі копіра до місць прикладання зусилля, підвісу динамометра та його показках визначалось зусилля деформації головки.

Таблиця 1

Зусилля руйнування поверхні головки коренеплоду

№ п/п	Зони головки	Зусилля руйнування, Н	
		Середнє значення	Середньоквадратичне відхилення
1.	Вершина головки	150,2	5,1
2.	Зона зелених листків	195,4	9,4
3.	Зона сплячих вічок	191,8	7,3

Замір критичної твердості проводився за допомогою динамометра безпосередньо на лабораторній установці шляхом встановлення коренеплоду відповідною зоною до кривизни копіра. При заміряних відстанях від осі копіра до місць прикладання зусилля, підвісу динамометра та його показках визначалось зусилля деформації головки.

Також експериментально визначено зусилля проникнення пера копіра крізь гичку до поверхні головки коренеплоду, що знаходиться в межах 50...70 Н.

Для моделювання процесу зрізу гички пропонуємо припущення:

- 1) частина головки, що виступає над поверхнею ґрунту має форму зрізаного конуса;
- 2) гичка біля головки на відстані до 100 мм має форму циліндра.

Для перевірки даних припущень досліджувались:

- 1) значення кута конусності головки;
- 2) діаметр вершини головки;
- 3) розміщення максимального діаметра відносно поверхні ґрунту;
- 4) висоту зони зелених листків;
- 5) розподілення цукронової маси та гички на різній відстані від вершини головки;
- 6) урожайність коренеплодів.

Отримавши характеристики поля та коренеплодів, можна побудувати математичні моделі відходів цукронової маси та залишків гички при різних способах зрізу гички.

За допомогою спеціального пристосування частини гички та коренеплоду врізались через кожні 10 мм і зважувались на електронних вагах фірми SOEHNLE модель ULTRA 2,0 з точністю до 0,1 г. Досліди проводились для коренеплодів з діаметром 60-90 мм. Результати наведені на рис. 7.

Маса зрізаного шару гички зростає від 0 до 20 мм приблизно на 1...1,8%. Отже, незважаючи на те, що пучок гички коренеплоду має форму оберненого вершиною вниз, маса зрізаних частин не тільки не зростає, але й дещо спадає. При зрізі однакових частин циліндра перпендикулярно до його осі симетрії маса цих частин була б сталою.



Рис. 7. Розподілення цукронової маси та маси гички для коренеплодів максимальним діаметром: 60 мм; 70 мм; 80 мм; 90 мм.

Тому моделювання гички циліндром не зменшує долю залишків гички при безкопірному зрізі.

Відходи цукронової маси у зрізаному шарі, товщиною 10 мм, із збільшенням відстані до вершини головки значно зростають і при зрізі близькому до максимального діаметра становлять 9,5...12 %.

При відокремленні гички з низьким зрізом можуть значно зрости незворотні втрати цукронової маси, тому нами визначено сумарні залишки гички та сумарні відходи цукронової маси для різних груп коренеплодів від висоти зрізу відносно вершини головки.

Закономірності для зміни відходів цукронової маси в гичку та залишків гички на головках коренеплодів в залежності від висоти зрізу встановлювали при вибірці не менше ніж 300 показників.

Аналізуючи дані табл. 2 встановлено, що при зниженні значень висоти зрізу до хвостової

частини коренеплоду буряка сумарні відходи цукронової маси зростають для всіх розмірних груп коренеплодів, а при збільшенні діаметра коренеплоду буряка масова доля відходів цукронової маси зменшується для однієї і тої ж висоти зрізу. Для коренеплодів діаметром 40...120мм при висоті зрізу 40мм втрати цукронової маси становлять відповідно 27,6...4,4%, що практично для більшості коренеплодів значно перевищує вимоги стандарту. Значне коливання втрат цукронової при однаковій висоті зрізу для різних за діаметром коренеплодів свідчить про необхідність коригування висоти зрізу головок.

Аналогічно і збільшуються значення сумарних залишків гички на головках коренеплодів в залежності від збільшення висоти зрізу (табл.3).

При збільшенні діаметра коренеплодів виникає зменшення залишків гички на головках коренеплодів від 5,1 до 1,2 % і від 28,9 до 10,7 %.

Таблиця 2.

Значення сумарних відходів цукронової маси (%) коренеплодів в залежності від висоти зрізу

Діаметр коренеплоду буряка, мм	Висота зрізу, мм								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
40-60	8,3	27,6	52,1	69,6	79,9	86,4	88,1	89,4	89,9
60-80	5,9	20,3	39,1	55,3	70,1	79,4	85,3	86,9	89,2
80-100	3,2	10,9	22,2	40,1	59,3	73,1	84,2	86,9	87,9
100-120	2,3	7,4	14,3	24,9	36,5	49,5	63,0	72,5	79,4
120-140	1,3	4,4	10,3	19,2	28,4	38,4	46,1	57,7	68,5

Варто відзначити, що загальна закономірність збільшення значень залишків гички в залежності від збільшення висоти зрізу зберігається і для цього випадку. Також встановлено, що для коренеплодів діаметром

100 мм характерна більша наявність бічних відростків гички, тому під час зрізу потрібно враховувати їх вплив на засміченість зеленою масою вороху коренеплодів.

Таблиця 3.

Значення сумарних залишків гички (% до маси коренеплоду) на головках
коренеплодів у залежності від висоти зрізу

Інтервал, мм	Номер досліду					
	1	2	3	4	5	6
	%	%	%	%	%	%
- 20-0	-	-	4,5	9,2	1,7	-
0-20	20,1	27,0	43,5	41,6	40,2	19,2
20-40	28,6	33,1	27,8	20,2	18,3	28,9
40-60	22,2	17,2	11,7	16,3	17,6	23,8
60-80	18,9	13,9	10,1	7,8	12,4	16,3
80-100	8,1	5,6	2,3	3,3	7,8	11,2
100-120	1,7	2,5	-	1,0	1,2	0,6
120-140	0,4	0,7	-	0,6	0,7	-

При дослідженні залежностей діаметра вершини та висоти основи зелених листків від висоти виступання головки коренеплоду отримано прямолінійні залежності, що з достовірністю не менше 95 % описують закон зміни діаметра вершини та висоти основи зелених листків (рис. 8).

Висота виступання головок коренеплодів по відношенню до поверхні ґрунту має випадковий характер. Встановлено, що випадкова величина характеризується функцією розподілу. Для моделювання процесу безкопінного зрізу необхідно визначити межі варіювання характеристик розподілення.

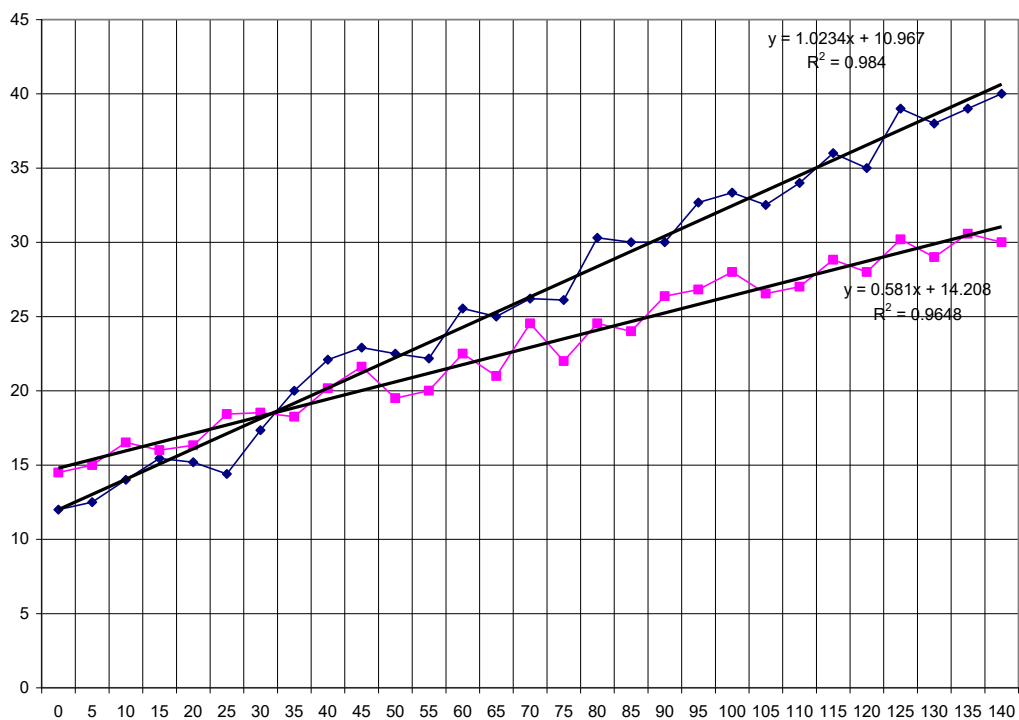


Рис. 8. Залежність діаметра вершини та висоти зони зелених листків від висоти виступання головки коренеплоду

В таблиці 4 представлений варіаційний ряд випадкової величини висоти виступання головок коренеплодів.

Таблиця 4.

Розподіл висот виступання головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту

Інтервал, мм	Номер досліду					
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %
0-(– 20)	-	3,1	9,1	11,4	8,0	-
0-20	16,1	18,6	26,8	25,4	18,2	22,2
20-40	26,1	28,2	34,3	30,6	26,3	26,2
40-60	26,5	27,5	22,2	20,9	26,7	25,4
60-80	19,0	14,7	6,6	9,1	13,8	15,3
80-100	9,0	4,9	1,0	2,3	5,8	10,2
100-120	2,6	2,3	-	0,3	1,2	0,7
120-140	0,7	0,7	-	-	-	-

Із аналізу даних, представлених в таблиці 4 встановлено, що значення виступу головок коренеплодів відносно ґрунту в основному рівне від 0 до 80 мм.

Деяка частка головок коренеплодів (3,1–11,4 %) розташована нижче рівня ґрунту. Водночас на висоті понад 100 мм знаходиться лише 0,3–2,6 % головок.

Для варіаційних рядів висот виступання головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту, які представлені по роках, є розподіл за певним законом. За допомогою використання відомої методики розраховуємо основні характеристики розподілу випадкової величини [5]

Розрахунок розподілу висот виступання головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту (2021 р.) представлений у таблиці 5, який

характеризується математичним сподіванням $h = 47,86$ мм та гіпотезою про те, що воно апроксимується за нормальним законом [5].

Наприклад, для інтервалу 80-100 мм значення емпіричної функції розподілу висот виступання головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту становить:

$$F(100) = \frac{48 + 78 + 79 + 57 + 27}{300} = 0,09.$$

Визначення теоретичної функції розподілу розраховувався для таких же значень аргументу, що і для емпіричної функції.

Таблиця 5

Розрахунок емпіричного і теоретичного розподілу висот виступання головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту

Інтервал, мм	Число висот	Частість	F(x)	F _T (x)	F _T (x) - F(x)
0-20	48	0,16	0,20	0,16	0,04
20-40	76	0,26	0,49	0,42	0,07
40-60	79	0,26	0,71	0,69	- 0,02
60-80	57	0,19	0,90	0,88	- 0,02
80-100	27	0,09	0,98	0,97	- 0,01
100-120	9	0,03	1,00	0,99	0,01
120-140	2	0,01	1,00	0,10	- 0,90

Далі було визначено критерій згоди Колмогорова λ , враховуючи при цьому значення максимальної різниці між відповідними значеннями емпіричної і теоретичної функцій розподілу:

$$\lambda = 0,037 \cdot \sqrt{300} = 0,65$$

Розрахункове значення λ значно менше допустимого $\lambda_{к.} = 1,36$ при рівні значимості 0,05.

Це означає, що дані замірів добре погоджуються із припущенням про те, що випадкова величина висот виступання головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту апроксимується нормальним законом.

Частість експериментального і ймовірність теоретичного розподілу висот виступання головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту для різних за діаметром груп коренеплодів представлені на рис. 9.

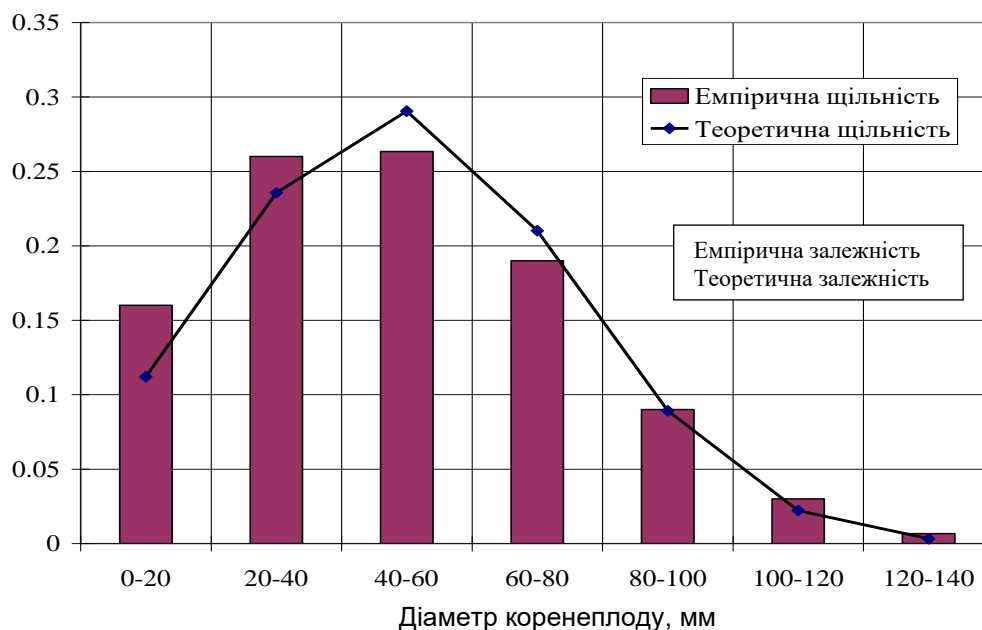


Рис. 9. Теоретичний та експериментальний закони розподілу висот виступання головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту

Отже, проведені дослідження свідчать, що доцільно використовувати у теоретичному моделюванні процесу відокремлення гички наступні припущення:

- розподіл головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту не заперечує нормальний закон розподілу випадкової величини;
- максимальний діаметр коренеплоду знаходиться нижче рівня ґрунту;
- головка коренеплоду близька за формою до зрізаного конуса, що характеризується висотою, діаметром вершини та кутом конусності;
- гичка біля головки (на відстані менше 100 мм) близька до форми циліндра, нижня основа якого розміщена на головці коренеплоду і на певній висоті від вершини головки – висота основи зелених листків;
- діаметр циліндра гички визначається кутом конусності головки коренеплоду та висотою основи зелених листків.

Висновки:

1. В статті представлено функціональні залежності діаметра вершини коренеплоду та висоти зони зелених листків від висоти виступання головок коренеплодів.
2. Встановлено, що твердість поверхні гички на відстані 0...5 мм від головки коренеплоду лише на 20...30% відрізняється від твердості поверхні головки коренеплоду у зоні зелених листків та сплячих вічок і майже дорівнює твердості вершини головки.
3. Проведені дослідження свідчать, що доцільно використовувати у теоретичному

моделюванні процесу відокремлення гички наступні припущення:

- розподіл головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту не заперечує нормальний закон розподілу випадкової величини;
- максимальний діаметр коренеплоду знаходиться нижче рівня ґрунту;
- головка коренеплоду близька за формою до зрізаного конуса, що характеризується висотою, діаметром вершини та кутом конусності;
- гичка біля головки (на відстані менше 100 мм) близька до форми циліндра, нижня основа якого розміщена на головці коренеплоду і на певній висоті від вершини головки – висота основи зелених листків;
- діаметр циліндра гички визначається кутом конусності головки коренеплоду та висотою основи зелених листків.

Список використаних джерел

1. Budzanivskiy, M. (2023). Development of the theory of root crop head cleaner movement in the longitudinal-vertical plane mounted behind a wheeled tractor. *Machinery & Energetics*, 14(4), 9-22. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.09>
2. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Holovach, I., & Ignatiev, Y. (2018). Experimental research on vibrational digging-up of sugar beet. *Agricultural Science and Practice*, 5(1), 30-41. <https://doi.org/10.15407/agrisp5.01.030>
3. Berezhenko, E. (2020). Analysis of methods for harvesting haulm root crops and designs of harvest modules. *Innovative Solutions in*



Modern Science, 38(2), 46-54. doi: 10.26886/2414-634X.2(38)2020.4.

4. Волоха М. Підвищення якості цукросировини шляхом інтенсифікації очищення коренеплодів при їх викопуванні. Наукові горизонти. 2020. № 07(92). С. 120–125. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-92-7-120-125.

5. Pascuzzi S., Bulgakov V., Holovach I., Ivanovs S., Aboltins A., Ihnatiev Y., Rucins A., Trokhaniak O., Paciolla F. Theoretical Study of the Motion of a Cut Sugar Beet Tops Particle along the Inner Surface of the Conveying and Unloading System of a Topping Machine. AgriEngineering. 2024. Vol. 6, No. 1. P. 409–422. DOI: 10.3390/agriengineering6010025.

6. Bulgakov V., Ivanovs S., Arak M., Olt J. Theoretical research of force interaction of a flexible cleaning blade with a beet root head. *Agronomy Research*. 2019. Vol. 17, No. 4. DOI: 10.15159/AR.19.132.

References

1. Budzanivskyi, M. (2023). Development of the theory of root crop head cleaner movement in the longitudinal-vertical plane mounted behind a wheeled tractor. *Machinery & Energetics*, 14(4), 9-22. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.09> [in English]

2. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Holovach, I., & Ignatiev, Y. (2018). Experimental research on vibrational digging-up of sugar beet. *Agricultural Science and Practice*, 5(1), 30-41. <https://doi.org/10.15407/agrisp5.01.030> [in English]

3. Berezhenko, E. (2020). Analysis of methods for harvesting haulm root crops and designs of harvest modules. *Innovative Solutions in Modern Science*, 38(2), 46-54. doi: 10.26886/2414-634X.2(38)2020.4 [in English]

4. Volokha M. Increasing sugar beet feedstock quality through intensification of root cleaning at harvesting. *Scientific Horizons*. 2020. № 07(92). P. 120–125. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-92-7-120-125. [in Ukrainian].

5. Pascuzzi S., Bulgakov V., Holovach I., Ivanovs S., Aboltins A., Ihnatiev Y., Rucins A., Trokhaniak O., Paciolla F. Theoretical Study of the Motion of a Cut Sugar Beet Tops Particle along the Inner Surface of the Conveying and Unloading System of a Topping Machine. *AgriEngineering*. 2024. Vol. 6, No. 1. P. 409–422. DOI: 10.3390/agriengineering6010025. [in English]

Bulgakov V., Ivanovs S., Arak M., Olt J. Theoretical research of force interaction of a flexible cleaning blade with a beet root head. *Agronomy*

Research. 2019. Vol. 17, No. 4. DOI: 10.15159/AR.19.132. [in English].

STUDY OF THE MECHANICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF SUGAR BEET TOPPINGS AND ROOTS

The article presents the results of a study on the morphological and mechanical characteristics of sugar beet leaf petioles as an object of mechanized removal during root crop harvesting. The relevance of the research is determined by the need to improve the quality of cleaning beet root crowns from haulm residues and to reduce crop losses during the operation of sugar beet harvesting machines.

The shape and structure of the leaf petiole were investigated from the standpoint of assessing the possibilities of its mechanical destruction. It was established that the petiole is characterized by a variable cross-sectional geometry that significantly depends on the distance from the apex of the root crown. Analysis of cross-sections revealed a regular change in their shape and dimensions in the direction from the crown toward the leaf blade, which should be taken into account when substantiating the design parameters of the working bodies of machines intended for cleaning beet root crowns.

The study determined functional relationships between the root diameter, the height of the crown protrusion above the soil surface, and the height of the green leaf zone. The obtained relationships make it possible to predict the position of haulm residues relative to the crown surface and to justify rational operating modes of cleaning devices. It was found that the geometric parameters of the crown and petioles significantly affect the quality of root crop cleaning.

Experimental studies showed that the hardness of the surface layer of haulm at a distance of 0-5 mm from the root crown differs from the hardness of the crown surface in the zone of green leaves and dormant buds by only 20-30% and is practically equal to the hardness of its upper part. This indicates the possibility of efficient mechanical removal of haulm residues without significant damage to the root crop, provided that the design and operating parameters of the cleaning working bodies are properly selected.

The obtained results can be used for improving sugar beet harvesting machines and for developing new designs of beet root crown cleaning devices.

Key words: sugar beets, beet tops, harvesting, beet top residues, root crop, root crop head cleaner.

Відомості про авторів

Борис Микола Михайлович – к.т.н., доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії Хмельницького національного університету (вул.Інститутська 11, м.Хмельницький, Україна, 29016; e-mail: myk0borys@gmail.com)

Мартинюк Андрій Віталійович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії Хмельницького національного університету (вул.Інститутська 11, м.Хмельницький, Україна, 29016; e-mail: avmart@khmnu.edu.ua)

Троханяк Олександра Миколаївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри механіки Національного університету біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041; e-mail: klendii_o@ukr.net)

Солона Олена Василівна – к.т.н., доцент, декан факультету технології виробництва, переробки та робототехніки у тваринництві Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net)

Borys Mykola – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Specialized Mechanical Engineering and Agricultural Engineering, Khmelnytskyi National University (11 Institutuskaya St., Khmelnytskyi, Ukraine, 29016; e-mail: myk0borys@gmail.com)

Martyniuk Andriy – Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Industrial Engineering and Agricultural Engineering at Khmelnytskyi National University (11 Institutuskaya St., Khmelnytskyi, Ukraine, 29016; e-mail: avmart@khmnu.edu.ua)

Trokhaniak Oleksandra – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine (15 Heroiv Oborony St., Kyiv, Ukraine, 03041; e-mail: klendii_o@ukr.net)

Solona Olena – Ph.D., Associate Professor, Dean of the Faculty of Production Technology, Processing and Robotics in Livestock Breeding of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonyachna St., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: solona_o_v@ukr.net)

Стаття надійшла 29.05.2026

Стаття прийнята 08.05.2026

Опубліковано 28.05.2026