

В статье приведен метод построения механической характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Метод реализован путем аппроксимации характерных точек, через которые должна проходить механическая характеристика с помощью полиномиального сплайна достаточно высокого степени.

Асинхронный электропривод, механическая характеристика, полиномиальная аппроксимация.

In paper the method of construction of mechanical characteristic of squirrel-cage motor is resulted. The method is realized by approximation of characteristic points through which there should take place the mechanical characteristic by means of polynomial-spline enough high degrees.

Squirrel-cage motor, mechanical characteristic, polynomial approximation.

УДК 631.35: 633.63

ЛАБОРАТОРНІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОПІРНО-РОТОРНОГО ВІДОКРЕМЛЮВАЧА ГИЧКИ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

**В.М. Булгаков, доктор технічних наук, академік НААН України
А.М. Борис, аспірант***

Розроблено новий копірно-роторний гичковідокремлювальний апарат, експериментальну установку та методику дослідження в лабораторних умовах процесу відокремлення гички цукрових буряків. В результаті проведених досліджень отримано залежності показників якості процесу від поступальної швидкості, висоти виступання головок коренеплодів та відхилення від умовної осьової лінії рядка. Визначені раціональні значення основних конструктивно-технологічних параметрів відокремлювача гички.

Коренеплід, головка коренеплоду, гичка, копірно-роторний відокремлювач гички, лабораторна установка.

Постановка проблеми. Донедавна цукрова промисловість України була важливою стратегічною галуззю і займала провідне місце в економіці країни. Це зумовлено тим, що основний продукт

*Науковий керівник – доктор технічних наук В.М. Булгаков

© В.М. Булгаков, А.М. Борис, 2012

галузі – цукор є базовою сировиною для багатьох харчових виробництв, а тому є важливою складовою продовольчої безпеки держави. Тому, відродження галузі буряківництва, найближчим часом слід вважати пріоритетним.

При збиранні цукрових буряків вміст гички у кінцевому воросі коренеплодів шкідливо впливає на якість цукру. Результати незалежних досліджень роботи гичковідокремлювальних модулів та гичкозбиральних машин, які наведені в роботах [4, 6 – 8] показали, що вимоги стандарту при використанні традиційних технологій відокремлення гички виконуються в обмеженому діапазоні поступальних швидкостей. Це створює технологічну несумісність робочих швидкостей між операціями відокремлення гички та викопування коренеплодів. Так, відокремлення гички відбувається при швидкостях руху машин до 1,5 м/с, а викопування коренеплодів – до 2,5 м/с. В зв'язку з цим виникає потреба в удосконаленні традиційних технологій та створенні нових робочих органів, які дозволять якісно виконувати процес відокремлення гички на швидкостях руху більших ніж 2 м/с.

Аналіз останніх досліджень. Експериментальні дослідження технологічного процесу і робочих органів для відокремлення гички відображені в роботах Погорілого Л.В., Булгакова В.М., Татьянко М.В., Мартиненка В.Я., Зуєва М.М., Хелемендика М.М., Топоровського С.А., Березового М.Г., Гурченка О.П., Бориса М.М., Сипливця О.О. та ін. Але дані дослідження у переважній більшості орієнтовані на традиційні технології та гичковідокремлювальні апарати.

Слід відмітити широке використання в сучасних гичковідокремлювальних модулях технології безкопінного зрізу основної маси гички і копінного дообрізання головок коренеплодів, що дозволяє зменшити діапазон копінного зрізу та інерційні навантаження на головки коренеплодів, та покращує точність їх копіювання. Але у відомих дослідженнях майже відсутнє наукове обґрунтування даного процесу.

Нами проведено теоретичне дослідження розподілу наземних цукроносних мас і запропоновано комбінований процес відокремлення гички [2, 3, 5]. Даний процес включає в себе безкопінний зріз низьковиступаючих коренеплодів, копінний зріз середньовиступаючих коренеплодів та безкопінний зріз високовиступаючих коренеплодів. Також розроблено копінно-роторний гичковідокремлювальний апарат, що виконує даний технологічний процес. Основні його параметри обґрунтовані теоретично.

Мета досліджень. Визначення раціональних параметрів технологічного процесу видалення гички новим копінно-роторним

відокремлювачем гички цукрових буряків.

Постановка завдання. Оскільки, технологічний процес комбінованого зрізу та комбінований робочий орган для відокремлення гички застосовуються вперше, то необхідно обґрунтувати його основні конструктивно-технологічні параметри і раціональні діапазони зміни режимів роботи та підтвердити результати теоретичних досліджень. Велика трудомісткість та вартість підготовки і проведення експериментальних досліджень процесу відокремлення гички в польових умовах створює необхідність проведення попередніх досліджень в лабораторних умовах.

Визначення таких показників якості, як залишки гички на головках коренеплодів, відхилення площини зрізу від горизонтального положення, ступінь вибивання та пошкодження коренеплодів, передбачає обробку великої маси коренеплодів для кожної повторності досліджу. А зняття такого показника, як відходи цукроносної маси в польових умовах неможливе, оскільки немає можливості зафіксувати масу зрізаних частин головок коренеплодів. Неможливо в реальних умовах оцінити сумісний вплив на процес відокремлення гички висоти виступання головок коренеплодів в поєднанні з іншими факторами. Зокрема, з початковим вертикальним зазором a та відхиленням робочого органу від умовної осьової лінії рядка δ . Тому є необхідність дослідження окремих факторів в лабораторних умовах. Проведення досліджень в лабораторних умовах дасть змогу оцінити вплив кожного фактора окремо на показники якості процесу, виявити характерні явища процесу відокремлення гички, обґрунтувати раціональні значення параметрів процесу відокремлення гички.

Для цього, насамперед, необхідно обґрунтувати методику проведення лабораторних досліджень та розробити конструкцію лабораторної експериментальної установки. Далі, провести безпосередньо лабораторні дослідження, проаналізувати їх результати та визначити раціональні технологічні параметри запропонованого відокремлювача гички цукрових буряків.

Результати досліджень. На підставі окреслених завдань лабораторних досліджень попередньо були проведені відповідні роботи по проектуванню та виготовленню нового робочого органу та лабораторної установки. Крім того, були уточнені конкретні задачі таких досліджень, а саме:

- підтвердження правильності вибору конструктивних параметрів, отриманих в результаті теоретичних досліджень;
- визначення емпіричних залежностей показників якості для перевірки в подальших дослідженнях теоретичних положень

процесу відокремлення гички з модельного коренеплоду та обґрунтування раціональних значень параметрів: початкового вертикального зазору a , швидкості поступального руху машини V , відхилення робочого органу від умовної осьової лінії рядка δ .

Розроблений нами копірно-роторний відокремлювач гички (рис. 1) складається із несучого диска 1, робочих елементів, встановлених на шарнірах 2, які утворені копірними 3 та ріжучими 5 частинами. Сусідні робочі елементи кінематично зв'язані між собою за допомогою упорів 4. Конструктивними особливостями даного відокремлюючого робочого органу є:

- відхилення робочих елементів від площини обертання ротора;
- мала маса робочих елементів;
- використання відцентрових сил інерції для забезпечення контакту робочих елементів з головками коренеплодів та швидкого відновлення ними вихідного положення до наступної взаємодії.

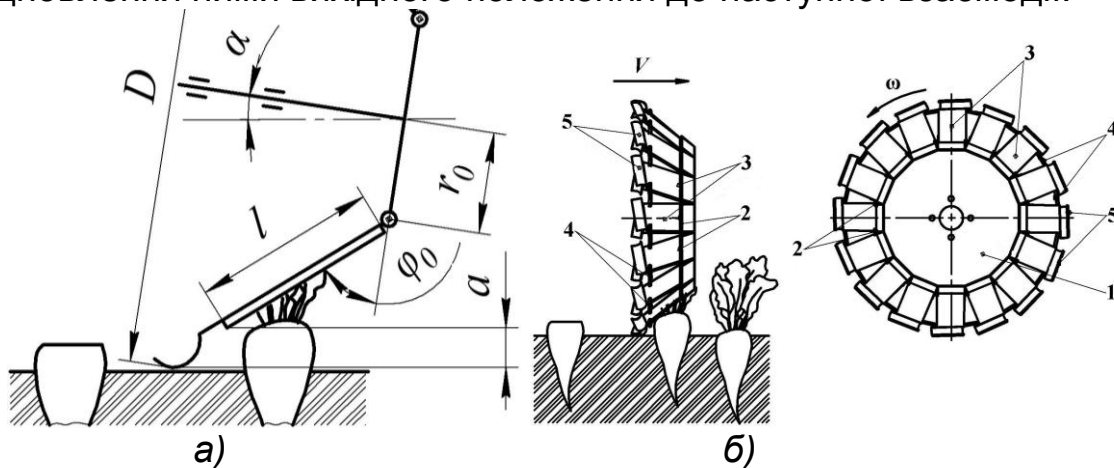


Рис. 1. Конструктивна (а) та кінематична (б) схеми копірно-роторного гичкорізального апарату.

Виходячи з механіко-технологічних властивостей коренеплодів та умов їх копіювання, нами теоретично обґрунтовано основні конструктивно-технологічні параметри: $\alpha = 0^\circ$ – кут нахилу площини обертання до вертикалі; $l = 0,11$ м – довжина копірної частини робочого елемента; $\varphi_0 = 50^\circ$ – кут встановлення робочого елемента до площини обертання; $r_0 = 0,2$ м – радіус осі підвісу робочих елементів; $D = 0,6$ м – діаметр ротора.

Даний робочий орган працює наступним чином. При взаємодії копірної частини робочого органу з головкою коренеплоду, відхиляється система робочих елементів за допомогою кінематичного зв'язку між ними. Після проходження копірною частиною головки коренеплоду, система робочих елементів орієнтується на необхідну висоту зрізу і порційно, кожним робочим

елементом, видаляється частина головки коренеплоду з гичкою. Після досягання головкою коренеплоду кінця ріжучої частини відбувається схід системи елементів з головки і відновлення вихідного положення робочого органу для взаємодії з наступною головкою коренеплоду.

Для ефективного проведення експериментальних досліджень процесу відокремлення гички лабораторна установка повинна забезпечувати :

- можливість зміни основних параметрів процесу: кута нахилу осі обертання ротора до умовної осьової лінії рядка, діаметра ротора, відстані від осі ротора до осі підвісу робочих елементів, початкового відхилення робочого елемента від площини обертання, зміщення осі ротора відносно умовної осьової лінії рядка, початкового вертикального зазору між копірною та ріжучою частиною робочого органу, висоти виступання головок коренеплодів, частоти обертання ротора та швидкості поступального руху машини;
- використання натуральних коренеплодів під час проведення дослідів, що наближує умови досліджень до реальних.

Нами розроблено та виготовлено лабораторну установку (рис. 2), де передбачено можливість моделювання вищенаведених параметрів робочого органу, агрофізичних характеристик посівів та параметрів коренеплоду.

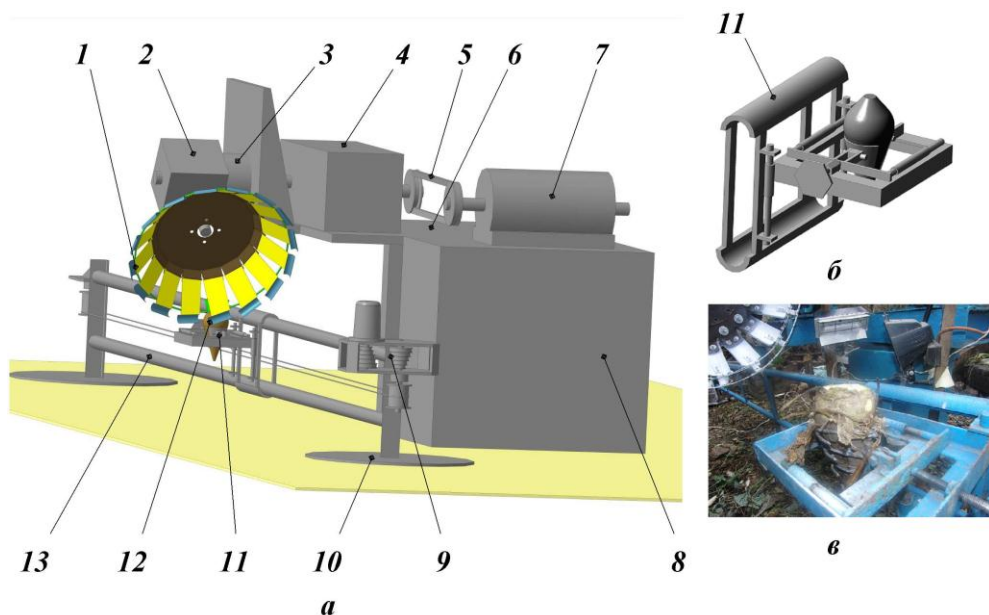


Рис. 2. Лабораторна установка для дослідження процесу відокремлення гички (а), тримач коренеплоду (б), коренеплід із зрізаною гичкою, закріплений в тримачі (в).

Лабораторна установка (рис. 2) для експериментального дослідження гичковиделяючих робочих органів складається: з

основної рами 8, електродвигуна 7, клинопасової передачі 5, ланцюгово-планчатого варіатора 4, поворотного пристрою 3, конічного редуктора 2 та закріпленого на його валу робочого органу 1 (передбачене встановлення різних типів робочих органів), рамки 13 “рухомого поля”, механізму 9 приводу “рухомого поля”, пристрою для закріплення коренеплоду 11, дослідного коренеплоду 12 (або імітатора коренеплоду цукрового буряку), стійок 10 з механізмами регулювання висоти. Механізм 9 приводу “рухомого поля” складається з окремого електродвигуна, барабана для намотування троса, що з’єднаний з пристроєм для закріплення коренеплоду 11. Електрична схема керування двигуном 7 передбачає реверсивний режим обертального руху конічного редуктора 2. Керування приводами конічного редуктора 2 з робочими органами та “рухомого поля” здійснюється з пульта управління.

Відбір коренеплодів цукрових буряків для досліджень в лабораторних умовах проводився безпосередньо перед дослідом (з повним збереженням стебел та листків гички, а також тіла самого коренеплоду). Перед викопуванням коренеплодів знімалися показники висоти виступання головок коренеплодів та проводилось їх ретельне маркування. Підготовка коренеплодів цукрових буряків до дослідів та реєстрація їх агрофізичних параметрів проводилась згідно методики [5]. Для кожної повторності дослідів проводилось сортування коренеплодів за висотою виступання, згідно рівнів її варіювання. Встановлювались значення керованих факторів експерименту на відповідних рівнях та проводився дослід. Проходження процесу відокремлення гички фіксувалось швидкісним відео. Після цього проводилось фіксування показників якості згідно методики [5]. Була також виконана оцінка похибок експериментальних даних. В результаті встановлена відсутність грубих похибок, що є необхідною умовою для проведення обробки та аналізу результатів досліджень.

Достатньою умовою для проведення аналізу експериментальних даних є однорідність дисперсій на проведені дослідів, що визначає відтворюваність результатів досліджень. Перевірку відповідності цій умові здійснено з використанням критерію Кохрена. Адекватність моделі перевірялась за критерієм Фішера, значущість коефіцієнтів рівняння регресії – за критерієм Стьюдента згідно методики [1]. Емпіричні залежності показників якості процесу відокремлення гички від керованих факторів апроксимувались квадратичними функціями. За результатами лабораторних досліджень отримано регресійні залежності показників якості процесу від поступальної швидкості V , вертикального зазору a , висоти виступання головок коренеплодів h , відхилення робочого органу від умовної осі рядка δ (рис. 3).

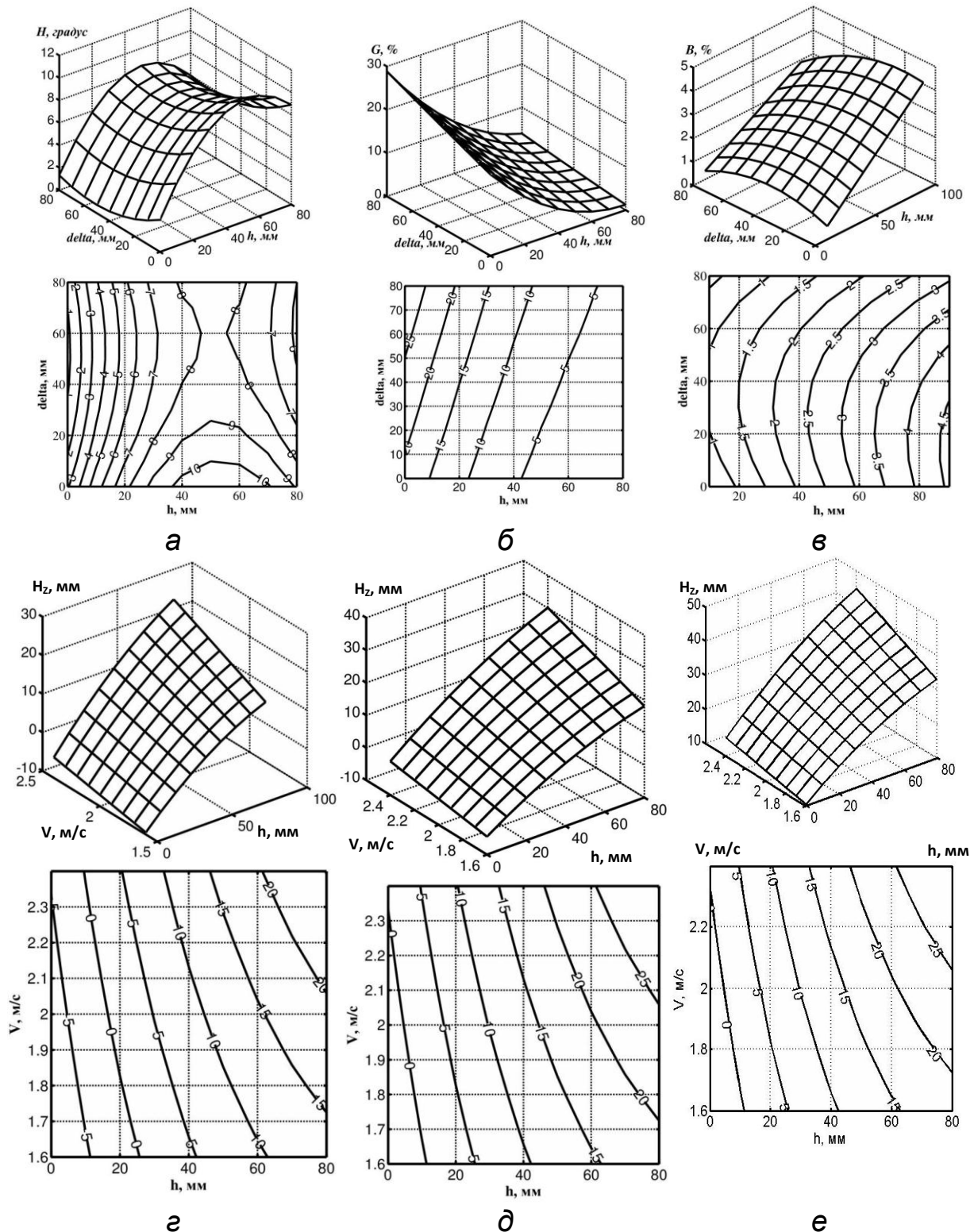


Рис. 3. Залежності показників якості процесу відокремлення гички: а, б, в – відповідно відхилення площини зрізу від горизонтального положення, залишків гички на коренеплодах та втрат цукроносної маси від параметрів δ та h при $a = 25$ мм; г, д, е – відповідно висота зрізу головок коренеплодів від параметрів V та h при $a = 10, 25, 40$ мм і $\delta = 40$ мм.

На початковому етапі в лабораторних умовах проводилась перевірка функціональної придатності відокремлювача гички та первинна оцінка правильності теоретичного обґрунтування основних конструктивних параметрів. При проведенні первинних досліджень фіксувались параметри поступальної швидкості $V = 2$ м/с, вертикального зазору $a = 25$ мм і висоти виступання $h = 60$ мм. Відхилення робочого органу від умовної осі рядка δ змінювались в межах від -80 мм до 80 мм від середнього положення. Оцінка якості роботи проводилась шляхом безпосереднього спостереження процесу та за допомогою швидкісного відео. Внаслідок проведених експериментальних досліджень було виявлено наступне:

- стабільний контакт системи робочих елементів у всіх фазах взаємодії з головкою коренеплоду;
- відновлення початкового положення відокремлювачем гички за час достатній для якісного копіювання головок коренеплодів в рядку;
- поверхня зрізу, утворена ріжучою частиною, рівна, без сколів і пошкоджень;
- відсутність пошкоджень на інших поверхнях коренеплодів;
- відсутність підрізання основи головки коренеплоду ріжучою частиною.

Дані показники попередньо засвідчили функціональну придатність робочого органу, правильність теоретичного обґрунтування основних конструктивно-технологічних параметрів та необхідність проведення подальших досліджень з метою визначення раціональних параметрів процесу та робочого органу. Але, слід відмітити значне відхилення площини зрізу від горизонтального положення при окремих значеннях δ , що вимагає окремого дослідження впливу даного параметра на процес відокремлення гички.

Визначення впливу параметрів процесу відокремлення гички та їх обґрунтування. Виходячи з попередніх досліджень та аналізу процесу взаємодії відокремлюючого робочого органу з головкою коренеплоду цукрового буряку, були визначені найбільш впливові фактори, а також інтервали їх варіювання.

Отже, основним фактором, що впливатиме на появу косого зрізу є відхилення δ робочого органу від умовної осі рядка. Тому, необхідно дослідити його сумісну дію з поступальною швидкістю V та висотою виступання h головки коренеплоду над рівнем поверхні ґрунту. За результатами обробки даних лабораторних досліджень побудована поверхня відгуку відхилення площини зрізу від горизонтального положення (рис. 3) при поступальній швидкості $V = 2$ м/с. Аналізуючи поверхню відгуку, бачимо чітко виражений

мінімум функції при певних значеннях зміщення δ . Так, як одним із завдань роботи є підвищення продуктивності процесу відокремлення гички, то був проведений аналіз функції відгуку за допомогою двовірних перетинів в області підвищених швидкостей $V = 1,8...2,2$ м/с. Із збільшенням фактора висоти виступання головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту відхилення площини зрізу від горизонтального положення та відходи цукроносної маси зростають, а залишки гички на коренеплодах знижуються.

Відхилення площини зрізу не перевищує агротехнічних вимог для низьковиступаючих коренеплодів, для коренеплодів середнього діапазону висот виступання відхилення площини зрізу збільшуються вище рівня агротехнічних вимог.

Отже, при поступальних швидкостях руху V менше 2,2 м/с можливі значення δ при яких коренеплоди всього діапазону висот виступання будуть нормально зрізані – $H < 10^\circ$. Мінімальні відхилення площини зрізу при поступальній швидкості руху V робочого органу близько 2 м/с будуть в діапазоні $\delta = 50...60$ мм.

Допустимі відхилення площини зрізу будуть при $\delta > 30$ мм. Очевидно, що при $\delta > 50$ мм можуть збільшитись залишки гички на низькорозташованих головках коренеплодів (рис. 3).

Втрати цукроносної маси при $\delta = 20...50$ мм збільшуються, але це свідчить про активізацію процесу відокремлення гички. При зрізі гички за межами даного діапазону втрати цукроносної маси зменшуються, але це пояснюється появою косих зрізів головок коренеплодів.

Отже, з врахуванням вищевикладеного, раціональним діапазоном зміщення осі ротора від умовної осі рядка можна вважати $\delta = 30...50$ мм.

В результаті проведених експериментальних лабораторних досліджень було виявлено суттєвий вплив висоти виступання головок коренеплодів цукрових буряків на основні показники процесу відокремлення гички – втрати цукроносної маси та залишки гички на головках коренеплодів.

Це пояснюється різницею в тривалості та інтенсивності взаємодії головок коренеплодів різних груп висот виступання з робочими елементами відокремлювача гички, що підтверджено виявленим відхиленням фактичних висот зрізу головок коренеплодів від заданого вертикального зазору.

Так, для низьковиступаючих коренеплодів висота зрізу менша за вертикальний зазор ріжучої частини, а високовиступаючих – значно перевищує вертикальний зазор. За короткий час взаємодії з копірною частиною робочий орган не встигає знімати шар гички на головках низьковиступаючих коренеплодів і тому зрізується менший

шар головки. При взаємодії високовиступаючих коренеплодів із великою кількістю лопатей копірної частини знімається весь шар гички і верхівкова частина головки. Очевидно, що даний ефект необхідно врахувати при виборі раціональних параметрів копінного і комбінованого зрізів.

Отримані емпіричні залежності висоти зрізу головки від конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи робочого органу можна використати при розрахунках показників якості процесу відокремлення гички копінним чи комбінованим способом і технологічних регулюваннях відокремлювача гички.

Слід зазначити, що при проведенні лабораторних експериментальних досліджень неможливо повністю відтворити реальні умови закріплення коренеплоду в ґрунті, змодельовати випадковий характер розташування коренеплодів відносно умовної осі рядка та розміщення головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту. Тому, для визначення усіх раціональних параметрів процесу слід додатково дослідити в польових умовах вплив вертикального зазору та поступальної швидкості руху на показники якості процесу відокремлення гички.

Висновки

1. Внаслідок проведених експериментальних лабораторних досліджень копінно-роторного відокремлювача гички встановлено:

– можливість поєднання всіх операцій відокремлення гички в одному робочому органі;

– можливість виконання технологічного процесу на швидкості поступального руху до 2,2 м/с і кутовій швидкості обертання ротора 60 с^{-1} ;

– правильність теоретичного обґрунтування основних конструктивно-технологічних параметрів при яких можливе якісне виконання технологічного процесу: вісь ротора паралельна умовній осьовій лінії рядка, діаметр ротора – 600 мм, відстань від осі ротора до осі підвісу робочих елементів – 200 мм, початкове відхилення робочого елемента від площини обертання – 50° ;

– раціональне значення зміщення осі ротора від умовної осьової лінії рядка $\delta = 30 \dots 50 \text{ мм}$.

2. Для остаточного визначення раціональних значень параметрів процесу відокремлення гички необхідно дослідити вплив вертикального зазору та поступальної швидкості на показники якості в польових умовах.

Список літератури

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. – М.: Наука, 1971. – 283 с.

2. Борис А.М. Моделювання технологічного процесу видалення гички комбінованим способом / А.М. Борис // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 7. – С. 66–68.
3. Борис А.М. Обґрунтування раціонального діапазону копінного зрізу гички цукрових буряків / А.М. Борис / Збірник наукових статей Луцького національного технічного університету. – Луцьк, 2011. – № 21(1). – С. 26–30.
4. Булгаков В.М. Бурякозбиральні машини / В.М. Булгаков. – К.: Аграрна наука, 2011. – 352 с.
5. Булгаков В.М. Методика та засоби лабораторних досліджень процесу відокремлення гички експериментальними робочими органами / В.М. Булгаков, А.М. Борис / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х., 2011. – Вип. 107, т. 1. – С. 175–188.
6. Зуев Н.М. Бескопирный срез головок корнеплодов. / Н.М. Зуев, С.А. Топоровский // Сахарная свекла. – 1988. – № 6. – С. 42–45.
7. Погорелый Л.В. Свеклоуборочные машины : История, конструкция, прогноз / Л.В. Погорелый, Н.В. Татьяна. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.
8. Роїк М.В. Науково-методичні рекомендації щодо збирання цукрових буряків / [Роїк М.В., Зуєв М.М., Курило В.Л., Гумендик М.Я.]. – К.: Аграрна наука, 2002. – 40 с.

Разработан новый копирно-роторный отделитель ботвы, экспериментальная установка и методика исследования в лабораторных условиях процесса отделения ботвы сахарной свеклы. Получены зависимости показателей качества процесса от поступательной скорости, высоты выступления головок корнеплодов и отклонения от условной осевой линии ряда. Определены рациональные значения основных конструктивно-технологических параметров отделителя ботвы.

Корнеплод, головка корнеплода, ботва, копирно-роторный отделитель ботвы, лабораторная установка.

The copy-rotor devices for separating of beet tops, set and methods for researches in laboratory conditions of process of separation of roots of sugar beet. It was gotten the dependences of metrics of quality on progressive rate and height of copy cut and roots of deviation from center the conditional line of row. Some rational values of basic structural and technological parameters of copy-rotor devices for separating of beet tops.

Root crop, head of root crop, root, copy-rotor devices for separating of beet tops, laboratory set.