

УДК 631.356.22

Теорія взаємодії плоского копіра із залишками гички цукрового буряка

Булгаков В. М., д.т.н., академік НААН

Головач І. В., д.т.н., Національний університет біоресурсів і природокористування України

Ігнат'єв Є. І., інженер, Таврійський державний агротехнологічний університет, e-mail: yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua, тел.: +38-068-864-72-63

Анотація

Проблема. Сучасні технології передбачають збирання гички цукрового буряка у дві стадії: суцільний основний зріз і збір усього масиву на підвищеній висоті й очистка або наступне обрізання головок коренеплодів від залишків. Тому питання копіювання головок коренеплодів, розташованих у рядках, стосується більшості гичкозбиральних машин, очисників головок коренеплодів, обрізувачів, викопуючих робочих органів деяких конструкцій.

Мета. Метою даного дослідження є визначення оптимальних конструктивних і кінематичних параметрів копіювального пристрою обрізувача головок коренеплодів на основі створення теорії взаємодії плоского пасивного копіра з головками коренеплодів при їхній обрізці на корені.

Методи. При дослідженні використані методи побудови математичних моделей функціонування сільськогосподарських машин і їхніх робочих органів з використанням основних положень математики, теоретичної механіки, розробки програм і чисельних розрахунків на ПК.

Результати. У роботі наведені теоретичні дослідження процесу взаємодії пасивного копіра з головкою коренеплоду цукрового буряка, на сферичній поверхні якої розташовані залишки гички у вигляді коротких пружних черешків. При дослідженні насамперед була розроблена нова конструкція обрізувача головок коренеплодів з використанням плоского копіра, побудована еквівалентна схема взаємодії такого копіра з нерухомою головкою коренеплоду, обрані,

розташовані відповідним чином, осі координат та визначені діючі сили й кутові параметри. Наведено результати чисельного моделювання розроблених систем диференціальних рівнянь для визначення силових і конструктивних параметрів з метою оптимізації кінематичних і конструктивних параметрів копіювального пристрою.

Висновки. Доцільність розробки нової конструкції обрізувача головок коренеплодів цукрового буряка на корені та проведених експериментальних досліджень і виробничих випробувань підтверджуються його ефективною роботою й високою якістю обрізки головок коренеплодів. Представлена силова схема взаємодії пасивного копіра й сферичної поверхні головки коренеплоду створила передумови розробки теорії процесу взаємодії пасивного копіра з головкою коренеплоду цукрового буряка з урахуванням пружно-демпфуючих властивостей залишків гички. Для визначення закону руху, швидкості та прискорення плоского пасивного копіра по сферичній поверхні головки коренеплоду цукрового буряка, на якій містяться залишки гички складена нова система диференціальних рівнянь з використанням основного закону динаміки. Використання отриманих нових аналітичних залежностей і результатів конкретних чисельних розрахунків на ПК при розробці й проектуванні бурякозбиральних машин сучасного технічного рівня забезпечить істотне поліпшення якості гички й коренеплодів цукрового буряка при їхньому механізованому збиранні.

Ключові слова: буряк цукровий, збирання, гичка, копіювання головок, теорія, рівняння руху, кінематичні та конструктивні параметри.

UDC 631.356.22

Theory of interaction of flat sensing member with tops remnants of sugar beet

Bulgakov V. M., PhD, academician NAAN

Golovach I. V., PhD, National University Life and Environmental of Ukraine

Ihnatiev Y. I., Eng, Tavria State Agrotechnological University, e-mail: yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua, tel: +38-068-864-72-63

Annotation

The problem. Modern technologies provide harvesting of sugar beet tops in two stages: a continuous main cut and collecting whole massif at increased height and cleaning or subsequent cutting of root crops heads from tops remnants. Therefore, the issue of copying the root crops heads located in rows concerns most of the top harvesting machines, root cleaners, toppers, and digging out the working organs of some designs.

The purpose. The purpose of this study is to determine the optimal constructive and kinematic parameters of sensing member of topping unit, based on theory of interaction of flat passive sensing member with root crops heads at their cut on a root.

Methods. The research used methods of constructing mathematical models of functioning of agricultural machines and their working bodies using the basic provisions of mathematics, theoretical mechanics, program development and numerical calculations on a PC.

Results. The paper presents theoretical studies of interaction process between a passive sensing member and root crop head of sugar beet on which spherical surface tops remnants in form of short elastic stalks are located. At research first of all the new design of topper of root crops heads with use of flat sensing member was developed. The equivalent scheme of interaction of sensing member with motionless root crop head is constructed. Coordinates

axes and operating forces and angular parameters are defined. Results of numerical modeling of developed differential equations systems for determination power and design parameters for the purpose of optimization of kinematic and design parameters of sensing member are given.

Conclusions. Expediency of developed design of topper for root crops heads of sugar beet on a root and conducted pilot studies and production tests are confirmed by efficient work and high quality cutting of root crops heads. The provided power scheme of interaction of passive sensing member and spherical surface of root crop head created premises of development of theory of interaction process of sensing member with root crop head of sugar beet taking into account elastic-damping properties of tops remnants. For definition of laws of movement and speed and acceleration of flat passive sensing member on a spherical surface of root crop head of sugar beet, which contains tops remnants the new system of differential equations with use of fundamental law of dynamics is made. Use of obtained analytical dependencies and results of numerical calculations on PC during the developing and design of beet pullers of modern technological level will provide significant improvement of quality of tops and root crops of sugar beet at their mechanical harvesting.

Key words: sugar beet, harvesting, beet tops, copying of heads, theory, movement equation, kinematic and design parameters.

УДК 631.356.22

Теория взаимодействия плоского копира с остатками ботвы сахарной свеклы

Булгаков В. М., д.т.н., академик НААН

Головач И. В., д.т.н., Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Игнатъев Е. И., инженер, Таврический государственный агротехнологический университет, e-mail: yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua, тел.: +38-068-864-72-63

Аннотация

Проблема. Современные технологии предусматривают уборку ботвы сахарной свеклы в две стадии: сплошной основной срез и сбор всего массива на повышенной высоте и доочистка или последующее обрезание головок корнеплодов от остатков ботвы. Поэтому вопрос копирования головок корнеплодов, расположенных в рядах, касается большинства ботвоуборочных машин, очистителей головок корнеплодов, обрезчиков,

выкапывающих рабочих органов некоторых конструкций.

Цель. Целью данного исследования есть определение оптимальных конструктивных и кинематических параметров копирующего устройства обрезчика головок корнеплодов на корню на основе создания теории взаимодействия плоского пассивного копира с головками корнеплодов при их обрезке на корню.

Методы. При исследовании использованы методы построения математических моделей функционирования сельскохозяйственных машин

и их рабочих органов с использованием основных положений математики, теоретической механики, разработки программ и численных расчетов на ПК.

Результаты. В работе приведены теоретические исследования процесса взаимодействия пассивного копира с головкой корнеплода сахарной свеклы, на сферической поверхности которой расположены остатки ботвы в виде коротких упругих черешков. При исследовании прежде всего была разработана новая конструкция обрезчика головок корнеплодов с использованием плоского копира, построена эквивалентная схема взаимодействия такого копира с неподвижной головкой корнеплода, выбраны, расположенные соответствующим образом, оси координат и определены действующие силы и угловые параметры. Приведены результаты численного моделирования разработанных систем дифференциальных уравнений для определения силовых и конструктивных параметров с целью оптимизации кинематических и конструктивных параметров копировального устройства.

Выводы. Целесообразность разработки новой конструкции обрезчика головок корнеплодов сахарной свеклы на корню и проведенных экспериментальных исследований и производ-

ственных испытаний подтверждаются эффективной работой и высоким качеством обрезки головок корнеплодов. Представленная силовая схема взаимодействия пассивного копира и сферической поверхности головки корнеплода создала предпосылки разработки теории процесса взаимодействия пассивного копира с головкой корнеплода сахарной свеклы с учетом упруго-демпфирующих свойств остатков ботвы. Для определения закона движения, скорости и ускорения плоского пассивного копира по сферической поверхности головки корнеплода сахарной свеклы, на которой содержатся остатки ботвы составлена новая система дифференциальных уравнений с использованием основного закона динамики. Использование полученных новых аналитических зависимостей и результатов конкретных численных расчетов на ПК при разработке и проектировании свеклоуборочных машин современного технического уровня обеспечит существенное улучшение качества ботвы и корнеплодов сахарной свеклы при их механизированной уборке.

Ключевые слова: свекла сахарная, уборка, ботва, копирование головок, теория, уравнение движения, кинематические и конструктивные параметры.

Постановка проблеми. Сучасні технології збирання цукрового буряка передбачають перед викопуванням корнеплодів із ґрунту початкове виконання зрізу основної маси гички й наступне остаточне обрізання головок на корені. Тому, ефективне функціонування більшості бурякозбиральних машин залежить від того, наскільки точно буде здійснене копіювання корнеплодів, розташованих у рядку, головки яких виступають над рівнем поверхні ґрунту на різній висоті. Це стосується більшості гичкозбиральних машин, очисників головок корнеплодів, обрізувачів, викопуючих робочих органів деяких конструкцій. У світовій практиці широке поширення одержали різноманітні механічні пристрої, які здійснюють копіювання головок корнеплодів буряка на корені й встановлення зрізаючих або очищаючих робочих органів на потрібну робочу висоту. Це можуть бути пасивні копії, активні (приводні, барабанні), а також комбіновані. Однак, вимоги необхідного рівня якості роботи в різних умовах збирання, простоти конструкції, меншій металоемності й енергоємності, при цьому, не завжди виконуються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням видалення залишків гички цукрового буряка після її суцільного зрізання на корені ріжучими апаратами присвячено багато опублікованих наукових праць і дисертацій [1-6] і ін. У них викладені результати досліджень очисників головок корнеплодів різних конструкцій: лопатевих [1, 4, 6], кільцевого [5], секторного [7] і барабанного [2] типів, а також у вигляді параболоїда [3]. При цьому найбільше застосування знаходять очисники головок корнеплодів на корені, які не вимагають досить точного й чутливого копіювання кожної головки корнеплодів буряка. Технологічні процеси збирання гички цукрового й кормового буряка багато в чому подібні, однак дослідженню збирання гички кормового буряка присвячені тільки експериментальні роботи [5, 9].

Варто підкреслити, що теоретичні дослідження руху пасивного гребінчастого копира по головках корнеплодів цукрового буряка (особливо при його переміщенні з низько розташованого в ґрунті корнеплоду на – високо розташований, і навпаки) наведені в [10]. Однак результати даних теоретичних

досліджень базуються в основному на використанні геометричних залежностей, а математичної моделі даного процесу не розроблено.

У роботі [1] розглянута ударна взаємодія плоского пасивного копіра, нахиленого в повздовжньо-вертикальній площині з головкою коренеплоду цукрового буряка, розташованого нерухомо в ґрунті. Однак представлена теорія розглядає лише окремий випадок такої взаємодії, коли головка коренеплоду цукрового буряка досить високо розташована над рівнем поверхні ґрунту та позбавлена залишків гички на своїй сферичній поверхні й представлена у вигляді абсолютно твердого тіла.

Варто підкреслити, що в цей час у світі широке поширення одержали найпростіші дообрізувачі головок коренеплодів цукрового буряка від залишків гички, які складаються з встановлених на одній рамці спереду гребінчастого копіра і закріпленого позаду нього плоского ножа. Однак як показують результати всебічних багаторічних випробувань таких конструкцій дообрізувачів використання, у цьому випадку, гребінчастих копірів, приводить до того, що короткі залишки гички (черешки), як правило, потрапляють в проміжки між гребінками копіра і він безпосередньо контактує з головкою коренеплоду. Це приводить до того, що гребінки (фактично досить вузькі, розташовані із зазорами металеві смужки) наносять глибокі травми тілам коренеплодів цукрового буряка та встановлюють більшу висоту наступного обрізання, тобто забезпечують значно знижений зріз головок. Це приводить до того, що при дообрізанні головок коренеплодів цукрового буряка втрачається до 6...8% цукроносною маси, у верхніх частинах тіл коренеплодів утворюються вертикальні тріщини, через підвищену площу зрізу більш інтенсивно відбуваються втрати бурячного соку [14, 15]. Крім того, використання досить простих конструкцій дообрізувачів головок коренеплодів цукрового буряка від залишків гички на корені приводить, у випадку збільшення швидкості поступального руху більше $2,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, до появи галопування, тобто, періодичного підсакування (особливо у випадку, коли головки коренеплодів розміщені на різних висотах виступання над рівнем поверхні ґрунту), що призводить до того, що окремі головки коренеплодів буряку виявляються взагалі не обрізаними.

Зазначені недоліки можна усунути застосуванням дообрізувачів нових конструкцій, коли в їхніх схемах використовуються плоскі копіри, а вся їхня рухлива частина обладнується притискними пружинами, що дають змогу регулювання зусилля притискання копіра й ножа до головок коренеплодів.

Мета. Визначення оптимальних конструктивних і кінематичних параметрів нового копіювального пристрою обрізувача головок коренеплодів на основі створення теорії взаємодії плоского пасивного копіра з головками коренеплодів при їхній обрізці на корені.

Методи. Використано методи побудови математичних моделей функціонування сільськогосподарських машин і їхніх робочих органів з використання основних положень математики, теоретичної механіки, складання програм і чисельних розрахунків на ПК.

Результати. Нами була розроблена нова конструкція дообрізувача головок коренеплодів цукрового буряка на корені пасивного типу, конструктивно-технологічна схема якого представлена на рис. 1.

Обрізувач головок коренеплодів цукрового буряка на корені складається з рамки 1, що закріплюється в задній частині основної рами гичкозбиральної машини, що здійснює суцільний безпідпирний, безкопирний зріз основної маси гички, над кожним рядком посівів коренеплодів, стійки з робочими органами 2, що з'єднуються з рамкою 1 за допомогою двох пар тяг 3 і 4 паралелограмного механізму. Тяга 3 має гвинтовий механізм регулювання її довжини. Стійка 2 містить закріпленій внизу пасивний плоский копір 5, кут α нахилу якого до горизонту може регулюватися та встановлений за ним плоский ніж 6, довжиною l й встановлений під кутом γ до напрямку руху (V_p). Всі рухливі частини обрізувача зв'язані між собою шарнірами 8, а тяги 3 і 4, крім того, з'єднані пружинним механізмом 7.

Обрізувач головок коренеплодів працює в такий спосіб. Під час руху по рядку посівів коренеплодів цукрового буряка пасивний плоский копір 5 найжджає на коренеплід 9 і, переміщаючись по його головці, піднімає стійку 2 з ножем 6 вгору, і, коли задня частина копіра досягає вершини головки, ніж 6 встановлюється на потрібну висоту зрізу. При подальшому поступальному русі

обрізувача ніж 6 плоско обрізає головку коренеплоду буряка від залишків гички.

Залежно від зазорів h_c і b змінюється висота зрізу головки коренеплоду буряка. Величина цих зазорів залежить від статистичних розмірів коренеплодів цукрового буряка й регулюється індивідуально для кожного бурячного масиву. Пружинний механізм 7 використовується усунення для галопування рухливої частини обрізувача при

русі по головках коренеплодів з різним розташуванням по висоті та притискає копір 5 до головки коренеплоду 9.

Виходячи із статистичних розмірно-масових характеристик коренеплодів цукрового буряка і їхнього розташування в рядках посівів, деякі основні конструктивні параметри обрізувача можуть бути прийняті конструктивно або розраховані по відомим досить простим залежностям.

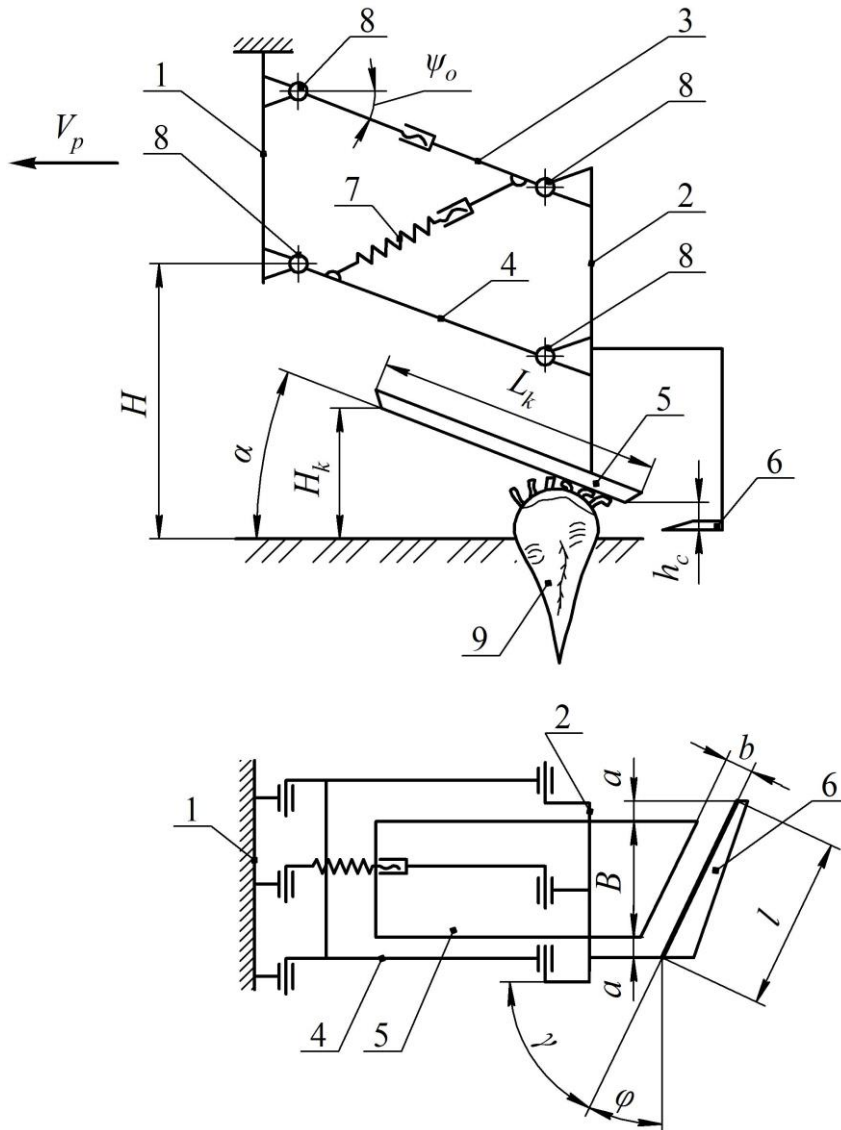


Рис.1. Конструктивно-технологічна схема пасивного обрізувача головок коренеплодів цукрового буряка: 1 – рамка; 2 – стійка з робочими органами; 3, 4 – тяги паралелограмного механізму; 5 – плоский копір; 6 – плоский ніж; 7 – пружинний механізм; 8 – шарніри; 9 – коренеплід цукрового буряка

Fig.1. Structurally-technological scheme of the passive topper for sugar beet root crops: 1 – frame; 2 – rack with working elements; 3, 4 – parallelogram arms; 5 – flat sensing member; 6 – flat knife; 7 – spring mechanism; 8 – pivots; 9 – sugar beet root crop

Так, ширина B плоского копіра приймається в межах $B = 160 \dots 210$ мм; H_k – висота установки передньої частини копіра 5 вибирається більшою, ніж висота розташування коренеплоду цукрового буряка 9 над рівнем поверхні ґрунту й повинна бути рівною не менше ніж $150 \dots 170$ мм; H – висота розташування нижнього шарніра 8 паралелограмної підвіски над рівнем поверхні ґрунту вибирається конструктивно й повинна перебувати в межах $250 \dots 350$ мм. При цьому значення висоти H також повинне забезпечувати транспортний кліренс гичкозбиральної машини, не менший чим 300 мм. Довжина плоского полозовидного копіра 5 залежить від максимальної висоти головки коренеплоду 9 і може бути визначена за допомогою такої залежності:

$$L_k = \frac{H_k}{\sin \alpha}. \quad (1)$$

Вертикальний зазор h_c між ножем 6 і плоским копіром 5 залежить від висоти розташування головки коренеплодів буряка й повинен перебувати в межах $10 \dots 50$ мм. Горизонтальний зазор b між копіром 5 і ножем 6 залежить від максимального діаметра головки коренеплоду 9 і перебуває в межах $b = 0 \dots 80$ мм. Кут γ повинен забезпечувати гарантований схід обрізаної головки коренеплоду й інших рослинних залишків з леза ножа 6. Він може бути визначений такою залежністю:

$$\gamma = 90^\circ - \varphi, \quad (2)$$

де φ – кут тертя гички по лезу ножа, $45^\circ > \varphi > 40^\circ$.

Довжина l ножа 6 може визначатися наступною залежністю:

$$l = \frac{B + 2a}{\cos \varphi}, \quad (3)$$

де a – перекриття ножа 6 щодо ширини копіра 5, що вибирається конструктивно.

Однак ефективна робота цього пристрою гичкозбиральної машини буде здійснюватися тільки в тому випадку, коли силові параметри взаємодії плоского

пасивного копіра з головкою коренеплоду будуть задовольняти умовам його не вибивання із ґрунту в процесі роботи й забезпечувати мінімальне його ушкодження при високій швидкості поступального руху.

В умовах, які найбільш близькі до реальних, взаємодія плоского пасивного копіра в початковий момент часу відбувається фактично з короткими й пружними пучками гички, які залишилися на бічній і центральній поверхні сферичної головки коренеплоду після суцільного зрізу гички ротаційним робочим органом.

Таким чином, в умовах більш близьких до реальних, дана взаємодія буде вже не жорсткою, якщо брати до уваги пружні і демпфуючі властивості коротких залишків зеленої гички, які на момент їхньої обрізки є досить пружними.

Складемо еквівалентну схему взаємодії плоского пасивного копіра, що встановлений під кутом α нахилу до горизонту, рухається поступально зі швидкістю \bar{V}_p та, наїжджаючи на головку коренеплоду цукрового буряка, спочатку починає контактувати із пружними залишками гички, які розташовані на бічній сферичній поверхні головки коренеплоду (рис. 2).

При цьому коренеплід цукрового буряка моделюється у вигляді жорстко закріпленої в ґрунті конічної частини, а верхня його частина – головка виступає на деяку висоту над рівнем поверхні ґрунту й умовно вважається в повздовжньо-вертикальній площині окружністю радіуса R . Центр головки коренеплоду позначений точкою O .

Пружні й демпфуючі властивості залишків гички на головці коренеплоду буряка на еквівалентній схемі показані у вигляді пружно-демпфуючої моделі, що має відповідно коефіцієнти c жорсткості й μ демпфірування. Взаємодія плоского копіра із зазначеною моделлю коренеплоду й залишками гички на його головці здійснюється в точці A .

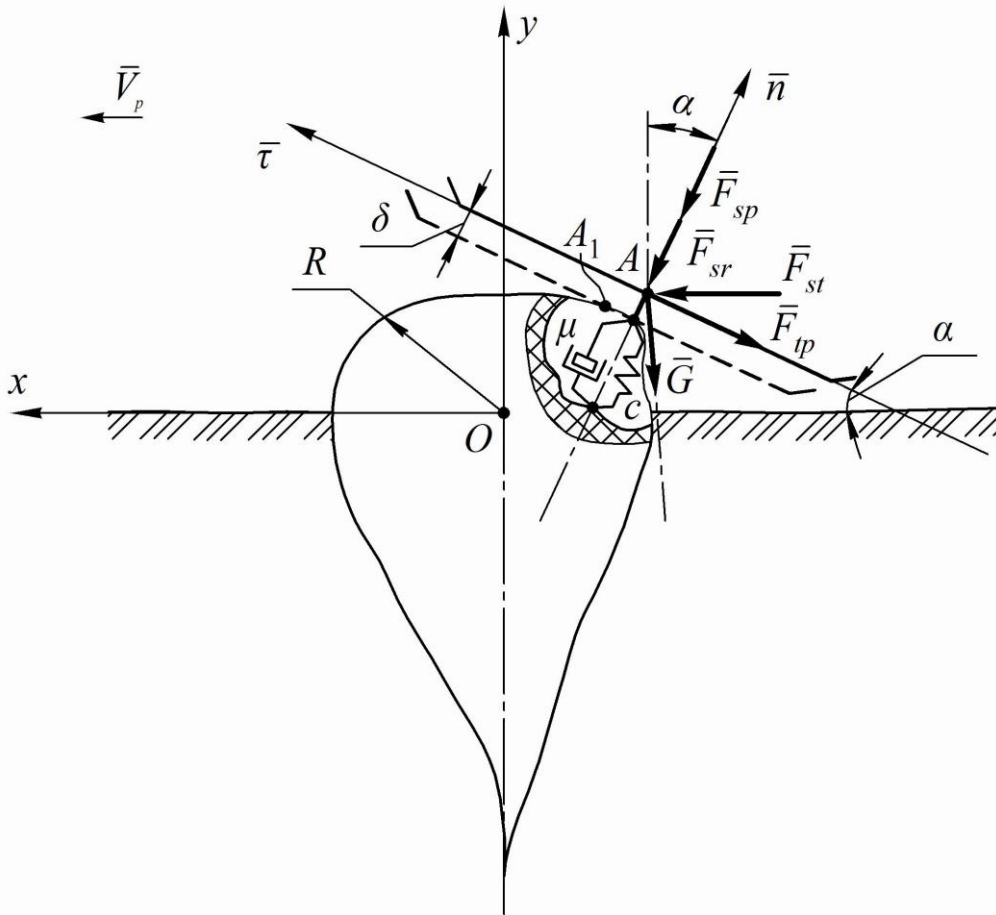


Рис.2. Еквівалентна схема взаємодії пасивного копіра і головки коренеплоду цукрового буряка

Fig.2. Equivalent scheme of interaction passive sensing member and root crop head of sugar beet

Проведемо через точку A систему прямокутних натуральних координат $\bar{\tau}A\bar{n}$, у якої вісь $\bar{\tau}$ проходить через площину копіра по дотичній до головки коренеплоду в точці контакту, а вісь \bar{n} спрямована по нормалі до головки коренеплоду вгору.

Позначимо всі сили, які діють на копір під час контакту з головою коренеплоду буряка. Це, насамперед, рушійна горизонтальна сила – \bar{F}_{st} ; додаткова сила пружини \bar{F}_{sp} , що передбачена конструкцією обрізувача; сила \bar{F}_{sr} , що враховує тертя в шарнірах паралелограмного механізму обрізувача. Зазначені три сили прикладені в точці A – точці контакту пасивного копіра з пучком залишків гички, причому сили \bar{F}_{sp} й \bar{F}_{sr} прикладені до пасивного плоского копіра

по нормалі, тобто, розташовані уздовж осі \bar{n} . До точки A прикладена також сила \bar{G} ваги копіра, спрямована вертикально вниз. Крім того, у точці A уздовж нормалі \bar{n} прикладені сили пружності гички \bar{F}_c й вязкого опору \bar{F}_μ . Уздовж дотичної $\bar{\tau}$ прикладена сила тертя \bar{F}_{tp} , що виникає внаслідок переміщення копіра по головці коренеплоду буряка.

З урахуванням отриманої схеми сил, на підставі основного закону динаміки матеріальної точки запишемо диференціальне рівняння руху плоского копіра по головці коренеплоду буряка у векторній формі:

$$m\bar{a} = \bar{F}_{st} + \bar{F}_{sr} + \bar{F}_{sp} + \bar{F}_c + \bar{F}_\mu + \bar{F}_{tp} + \bar{G}, \quad (4)$$

де \bar{a} – прискорення переміщення плоского копіра по головці коренеплоду буряка; m – маса плоского копіра.

Рух копіра будемо розглядати в абсолютній нерухомій системі декартових координат xOy , де вісь Ox спрямована горизонтально убік руху копіра, а вісь Oy спрямована вертикально вгору, початок координат (точка O) розташована в центрі окружності, верхня частина якої моделює форму поверхні головки коренеплоду.

Визначимо значення всіх сил, що входять у векторне рівняння (4). Сили пружності \bar{F}_c й в'язкого опору (демпфірування) \bar{F}_μ будемо вважати виникаючими в результаті деформації γ й швидкості деформації $\dot{\gamma}$ пружних залишків (черешків) гички й діючими в напрямку нормалі n до поверхні головки коренеплоду буряка. Причому деформація пружних залишків гички багато в чому залежить від розташування черешків на головці коренеплоду перед початком контакту з поверхнею копіра. Так, на початку контакту деякі черешки можуть піддаватися деформації стиску, деякі – вигину, а деякі стиску й вигину одночасно. Однак, як тільки черешки будуть притиснуті плоскою поверхнею копіра до головки коренеплоду, можна вважати, що цей пучок зігнутих черешків надалі буде піддаватися деформації стиску, аж до часткового зминання. Тому саме цей пучок стиснутих черешків залишків гички й буде створювати пружно-в'язкий опір безпосередньому контакту плоского копіра зі сферичною поверхнею головки коренеплоду буряка, захищаючи її від ушкоджень. Очевидно, що в загальному випадку величина деформації γ й швидкість цієї деформації $\dot{\gamma}$ можуть залежати від координат x, y положення копіра, швидкості V переміщення копіра по головці коренеплоду й часу t цього переміщення. Тому значення цих сил доцільно визначати згідно наступних виражень:

$$\begin{aligned} F_c &= c \cdot \gamma(x, y, V, t), \\ F_\mu &= \mu \cdot \dot{\gamma}(x, y, V, t), \end{aligned} \quad (5)$$

де $\gamma(x, y, V, t)$, $\dot{\gamma}(x, y, V, t)$ – відповідно величина деформації й швидкість деформації пучка залишків (черешків) гички, що перебувають одночасно в контакті з поверхнею копіра; c – коефіцієнт пружної деформації пучка залишків (черешків) гички, $\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$; μ – коефіцієнт в'язкого опору (демпфірування) пучка залишків (черешків) гички, $\text{H} \cdot \text{c} \cdot \text{m}^{-1}$.

Виразимо величину деформації γ й швидкість деформації $\dot{\gamma}$ коротких залишків гички через координати положення копіра при його русі по головці коренеплоду буряка в довільний момент часу.

Нехай спочатку контакту, коли вже всі черешки пучка залишків гички, що потрапили в площу контакту, притиснуті плоскою поверхнею копіра до головки коренеплоду, товщина утвореного шару із залишків гички буде дорівнює δ_0 . При подальшому русі копіра по головці коренеплоду зазначений шар залишків гички починає стискуватися. Нехай у довільний момент часу товщина шару стиснутих залишків гички стане рівної δ . Тоді деформація γ зазначеного шару в цей момент часу дорівнює:

$$\gamma = \delta - \delta_0. \quad (6)$$

Оскільки копір рухається по головці коренеплоду безвідривно, то в довільний момент часу, коли копір перебуває в точці $A(x, y)$, товщина шару δ , виражена через координати точки A (точка положення контакту копіра), буде дорівнювати (рис. 3):

$$\delta = \sqrt{x^2 + y^2} - R, \quad (7)$$

де R – радіус головки коренеплоду буряка.

З огляду на вираз (6) деформація шару залишків гички в довільній точці A буде визначатися наступним виразом:

$$\gamma = \sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0. \quad (8)$$

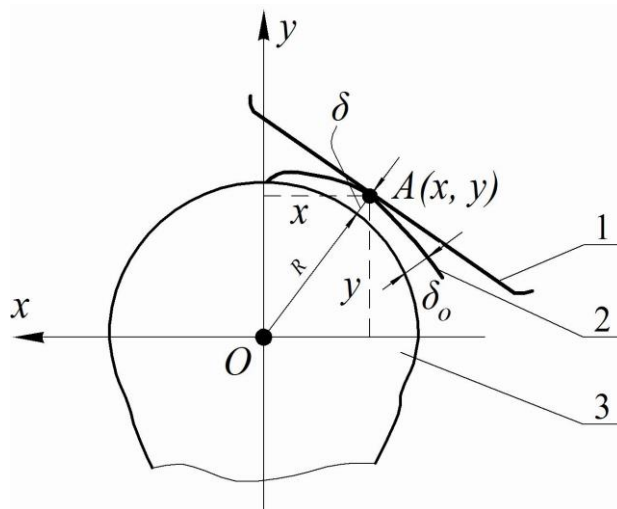


Рис.3. Схема до визначення деформації залишків гички на головці коренеплоду буряка при взаємодії з плоским копиром: 1 – копир; 2 – залишки гички; 3 – коренеплід буряку

Fig.3. Scheme for finding deformation of tops remnants on the beet root head when interacting with a flat sensing member: 1 – sensing member; 2 – tops remnants; 3 – beet root

Диференціюючи вираз (8) за часом t , одержимо швидкість зазначеної деформації в довільний момент часу. Маємо:

$$\dot{\gamma} = \frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}}. \quad (9)$$

З огляду на вираз (5), а також вирази (8) і (9), одержуємо значення сили пружності деформації стиснутого пучка залишків гички в такому вигляді:

$$F_c = c\left(\sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0\right), \quad (10)$$

і сили в'язкого опору (демпфірування):

$$F_\mu = \mu \left(\frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right). \quad (11)$$

Як видно із силової схеми (рис. 3), величина сили тертя буде дорівнювати:

$$F_{tp} = f \left[F_{sp} + F_{sr} - F_c - F_\mu - F_{st} \cdot \cos(\hat{x}, \hat{n}) + G \cdot \cos(\hat{y}, \hat{n}) \right], \quad (12)$$

де f – коефіцієнт тертя поверхні залишків (черешків) гички об поверхню плоского пасивного копіра.

У проекціях на осі Ox й Oy координат векторне рівняння (4) запишеться у вигляді системи диференціальних рівнянь наступного вигляду:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= F_{st} - F_{sr} \cos(\hat{x}, \hat{n}) - F_{sp} \cos(\hat{x}, \hat{n}) + \\ &+ F_c \cos(\hat{x}, \hat{n}) + F_\mu \cos(\hat{x}, \hat{n}) - F_{tp} \cos(\hat{x}, \hat{V}), \\ m\ddot{y} &= -F_{sr} \cos(\hat{y}, \hat{n}) - F_{sp} \cos(\hat{y}, \hat{n}) + F_c \cos(\hat{y}, \hat{n}) + \\ &+ \bar{F}_\mu \cos(\hat{y}, \hat{n}) - \bar{F}_{tp} \cos(\hat{y}, \hat{V}) - G, \end{aligned} \right\}, \quad (13)$$

де $\cos(\hat{x}, \hat{n})$, $\cos(\hat{y}, \hat{n})$ – напрямні косинуси вектора нормалі \bar{n} до осей Ox і Oy відповідно;
 $\cos(\hat{\dot{x}}, \hat{\bar{V}})$, $\cos(\hat{\dot{y}}, \hat{\bar{V}})$ – напрямні косинуси вектора швидкості \bar{V} до осей Ox і Oy відповідно;
 \dot{x} , \dot{y} – проекції вектора швидкості \bar{V} на осі Ox й Oy відповідно.

Згідно [13] зазначені напрямні косинуси будуть рівні:

$$\cos(\hat{x}, \hat{n}) = \frac{df}{dx} \cdot \frac{1}{\Delta f}, \quad \cos(\hat{y}, \hat{n}) = \frac{df}{dy} \cdot \frac{1}{\Delta f}, \quad (14)$$

$$\cos(\hat{\dot{x}}, \hat{\bar{V}}) = \frac{\dot{x}}{V}, \quad \cos(\hat{\dot{y}}, \hat{\bar{V}}) = \frac{\dot{y}}{V}, \quad (15)$$

де $f(x, y)$ – рівняння зв'язку (поверхні, по якій рухається матеріальна точка); Δf – модуль градієнта функції $f(x, y)$; V – модуль вектора швидкості точки.

Оскільки спочатку було прийнято, що головка коренеплоду цукрового буряка має сферичну форму, то у двовимірному випадку рівнянням зв'язку є наступний вираз:

$$f(x, y) = x^2 + y^2 - R^2 = 0, \quad (16)$$

де R – радіус головки коренеплоду цукрового буряка.

Це рівняння окружності радіуса R із центром O на початку координат.

Згідно [13] модуль градієнта функції й модуль швидкості точки відповідно будуть рівні:

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}, \quad (17)$$

$$V = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}. \quad (18)$$

З огляду на вираз (16), маємо:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = 2x, \quad \frac{\partial f}{\partial y} = 2y. \quad (19)$$

Тоді, згідно (17), одержуємо:

$$\Delta f = \sqrt{(2x)^2 + (2y)^2} = 2R. \quad (20)$$

З урахуванням виразів (14), (19) і (20) знаходимо:

$$\cos(\hat{x}, \hat{n}) = \frac{x}{R}, \quad \cos(\hat{y}, \hat{n}) = \frac{y}{R}. \quad (21)$$

З огляду на вирази (10), (11) і (21) вираз (12) для визначення сили тертя F_{tp} отримує наступний вигляд:

$$F_{tp} = f \left[F_{sp} + F_{sr} - c \left(\sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_o \right) - \mu \left(\frac{x \dot{x} + y \dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) - \frac{x}{R} F_{st} + \frac{y}{R} G \right]. \quad (22)$$

Підставляючи в (13) вираження (10), (11), (15), (21) і (22), та після певних перетворень отримуємо наступну систему диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned}
 \ddot{x} &= \frac{F_{st}}{m} - \frac{x}{mR} \left[c \left(\sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_o \right) + \mu \left(\frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) - F_{sr} - F_{sp} \right] - \\
 &- \frac{\dot{x}f}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} \left[F_{sr} + F_{sp} - c \left(\sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_o \right) - \mu \left(\frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) - \right. \\
 &\left. - \frac{x}{R} F_{st} + \frac{y}{R} G \right], \\
 \ddot{y} &= -\frac{y}{mR} \left[c \left(\sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_o \right) + \mu \left(\frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) - F_{sr} - F_{sp} \right] - \\
 &- \frac{\dot{y}f}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} \left[F_{sr} + F_{sp} - c \left(\sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_o \right) - \mu \left(\frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) - \right. \\
 &\left. - \frac{x}{R} F_{st} + \frac{y}{R} G \right] - g.
 \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Отримана система диференціальних рівнянь (23) являє собою розрахункову математичну модель безвідривного руху плоского копіра саме в тій частині головки коренеплоду буряка, де найімовірніше був можливий твердий удар, що завжди приводить до ушкодження верхньої частини коренеплоду буряка або до вибивання всього коренеплоду із ґрунту. Дана математична модель у загальному й повному вигляді моделює процес роботи пасивного копіра дообрізувача головок коренеплодів з урахуванням всіх сил, що діють у цьому випадку, виходячи з їхньої фізичної природи. Уперше дана математична модель враховує “пружнодемпфуючі” властивості залишків гички цукрового буряка, які безсумнівно мають місце при роботі системи копіра, який використовується при збиранні гички цукрового буряка.

Крім того, отримана система (23) це система диференціальних рівнянь другого порядку, вона є нелінійною, і вирішити її можна лише чисельними методами з використанням існуючих комп'ютерних програм на ПК.

Однак дану систему диференціальних рівнянь (23) можна вирішити чисельними методами з використанням ПК і для окремого випадку, наприклад, коли зусилля, що діють при роботі даної динамічної системи мають постійні й максимальні значення. Такий окремий випадок також дасть можливість успішно визначити оптимальні конструктивні й кінематичні параметри копіювального пристрою обрізувача головок коренеплодів на корені, що забезпечують якісну його роботу в широкому діапазоні експлуатаційних умов.

Початковими умовами для рішення системи диференціальних рівнянь (23) будуть наступні умови:

$$\text{при } t = 0: x = x_o, \quad y = y_o, \quad \dot{x} = V_p, \quad \dot{y} = 0. \quad (25)$$

Вирішуючи, наприклад, систему (18) диференціальних рівнянь для деякого діапазону пружнодемпфуючих властивостей залишків гички можемо одержати різні значення швидкості копіра після початкового контакту з головкою коренеплоду. Чим менше зміна швидкості копіра після контакту з бічним пучком черешків гички, тим будуть менші ударні навантаження, тим більш плавніше й м'якше буде відбуватися наїзд плоского копіра на коренеплід буряка. А це істотно зменшує ймовірність вибивання коренеплодів із ґрунту і їхнє ушкодження, що саме по собі дуже важливо для якісного проходження розглянутого технологічного процесу.

Досліджуючи отриману систему (23) диференціальних рівнянь, аналогічні розрахунки можемо зробити для деяких інтервалів зміни рушійної горизонтальної сили F_{st} й сили натягу пружини F_{sp} з метою оцінки плавності наїзду копіра на головку коренеплоду.

Слід зазначити, що найбільш істотні залишки гички після суцільного безкопінного зрізу зосереджені саме на бічній частині головок коренеплодів буряка. У верхній частині головок коренеплодів згадані залишки гички менш істотні, а не рідко й зовсім відсутні. До того ж, саме залишки гички на бічній частині головки коренеплоду на початку контакту сприймають основну ударну взаємодію копіра з головкою коренеплоду, пом'якшуючи зазначену ударну взаємодію. Тому саме на початку контакту копіра з головкою коренеплоду бічні черешки максимально деформуються, створюючи тим самим максимальні пружні $F_{c \max}$ й демпфуючі $F_{\mu \max}$ зусилля, що пом'якшують ударне навантаження, замінюючи її більш плавною контактною взаємодією.

Враховуючи ці зауваження розглянемо рух копіра по головці коренеплоду на самому початку його контакту з коренеплодом, тоді для цієї початкової ділянки контакту система диференціальних рівнянь (23) значно спрощується.

В першому наближенні можна прийняти, що кут між нормаллю \bar{n} й віссю Oy залишається постійним і рівним α , а між дотичною $\bar{\tau}$ й віссю $Oy - (90^\circ - \alpha)$, причому час контакту копіра з бічною частиною головки коренеплоду дуже малий. Тоді система диференціальних рівнянь (18) набуде наступного вигляду:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{F_{st}}{m} + (F_{sr} + F_{sp} - F_{c \max} - F_{\mu \max}) \frac{\sin \alpha}{m} - \\ &- \frac{f}{m} \cos \alpha (F_{sp} + F_{sr} - F_{c \max} - F_{\mu \max} + F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha), \\ \ddot{y} &= (F_{c \max} + F_{\mu \max} - F_{sr} - F_{sp}) \cdot \frac{\cos \alpha}{m} - \frac{f}{m} \sin \alpha (F_{sp} + F_{sr} - \\ &- F_{c \max} - F_{\mu \max} + F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha) - g. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Таким чином, отримана система лінійних диференціальних рівнянь, кожне з яких легко інтегрується у квадратурах. Після першого інтегрування системи рівнянь (26) одержуємо:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \frac{F_{st}}{m} t + (F_{sr} + F_{sp} - F_{c \max} - F_{\mu \max}) \frac{\sin \alpha}{m} t - \\ &- (F_{sp} + F_{sr} - F_{c \max} - F_{\mu \max} + F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha) \frac{f \cos \alpha}{m} t + C_1, \\ \dot{y} &= (F_{c \max} + F_{\mu \max} - F_{sr} - F_{sp}) \frac{\cos \alpha}{m} t - (F_{sp} + F_{sr} - F_{c \max} - F_{\mu \max} + \\ &+ F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha) \frac{f \sin \alpha}{m} t - gt + L_1, \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

де, C_1, L_1 – довільні постійні.

Після другого інтегрування системи рівнянь (26) одержуємо:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{F_{st}}{2m} t^2 + (F_{sr} + F_{sp} - F_{c \max} - F_{\mu \max}) \frac{\sin \alpha}{2m} t^2 - (F_{sp} + F_{sr} - \\ &- F_{c \max} - F_{\mu \max} + F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha) \frac{f \cos \alpha}{2m} t^2 + C_1 t + C_2, \\ y &= (F_{c \max} + F_{\mu \max} - F_{sr} - F_{sp}) \frac{\cos \alpha}{2m} t^2 - (F_{sp} + F_{sr} - F_{c \max} - \\ &- F_{\mu \max} + F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha) \frac{f \sin \alpha}{2m} t^2 - \frac{gt^2}{2} + L_1 t + L_2, \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

де, C_2, L_2 – довільні постійні.

З початкових умов (25) знаходимо значення довільних постійних:

$$C_1 = V_p, \quad L_1 = 0, \quad C_2 = x_0, \quad L_2 = y_0.$$

Таким чином, остаточно отримуємо:

а) закон зміни швидкості переміщення копіра по головці коренеплоду на початку контакту:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \frac{F_{st}}{m} t + \left(F_{sr} + F_{sp} - F_{c \max} - F_{\mu \max} \right) \frac{\sin \alpha}{m} t - \\ &- \left(F_{sp} + F_{sr} - F_{c \max} - F_{\mu \max} + F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha \right) \frac{f \cos \alpha}{m} t + V_p, \\ \dot{y} &= \left(F_{c \max} + F_{\mu \max} - F_{sr} - F_{sp} \right) \frac{\cos \alpha}{m} t - \left(F_{sp} + F_{sr} - F_{c \max} - F_{\mu \max} + \right. \\ &\left. + F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha \right) \frac{f \sin \alpha}{m} t - gt. \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

б) закон переміщення копіра по головці коренеплоду на початку контакту:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{F_{st}}{2m} t^2 + \left(F_{sr} + F_{sp} - F_{c \max} - F_{\mu \max} \right) \frac{\sin \alpha}{2m} t^2 - \left(F_{sp} + F_{sr} - \right. \\ &- F_{c \max} - F_{\mu \max} + F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha \left. \right) \frac{f \cos \alpha}{2m} t^2 + V_p t + x_0, \\ y &= \left(F_{c \max} + F_{\mu \max} - F_{sr} - F_{sp} \right) \frac{\cos \alpha}{2m} t^2 - \left(F_{sp} + F_{sr} - F_{c \max} - \right. \\ &- F_{\mu \max} + F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha \left. \right) \frac{f \sin \alpha}{2m} t^2 - \frac{gt^2}{2} + y_0. \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Змінюючи значення сил, що входять у вираз (28), можна мінімізувати зміну швидкості копіра в результаті його початкового контакту з головкою коренеплоду.

Для практичного використання виразу (23) необхідно знайти час τ контакту копіра з головкою коренеплоду. Це можна зробити, якщо врахувати робочу швидкість руху обрізувача – V_p . Будемо вважати, що на одному погонному метрі посівів коренеплодів цукрового буряка перебуває не більш ніж 6 коренеплодів, що відповідає високій урожайності цукрового буряка. Далі вважаємо, що якщо обрізувач рухається поступально зі швидкістю V_p (м·с⁻¹), то за відрізок часу в 1 секунду обрізувач здійснить контакт із $6V_p$ коренеплодами. Тому час τ контакту копіра з одним коренеплодом буряка дорівнює:

$$\tau = \frac{1}{6V_p}. \quad (30)$$

Для того щоб коренеплід не був вибитий із ґрунту під час удару плоского пасивного копіру по його головці необхідно забезпечити умову, при якій максимальне значення горизонтальної складової сили $P_{g \max}$, що діє з боку копіра на головку коренеплоду і її припустиме значення $[P_g]$ будуть зв'язані між собою такою залежністю:

$$P_{g \max} < [P_g]. \quad (31)$$

Знайдемо горизонтальну складову від сил, які діють на головку коренеплоду під час взаємодії з копіром. Як бачимо зі схеми (рис. 2), ця сила дорівнює:

$$P_g = F_{st} + \left(F_{sr} + F_{sp} - F_{c \max} - F_{\mu \max} \right) \sin \alpha - F_{tp} \cos \alpha. \quad (32)$$

На підставі (31) і (32) запишемо умову не вибивання коренеплоду буряка із ґрунту:

$$F_{st} + (F_{sr} + F_{sp} - F_{c \max} - F_{\mu \max}) \sin \alpha -$$

$$- f (F_{sr} + F_{sp} - F_{c \max} - F_{\mu \max} + F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha) \cos \alpha < [P_g]. \quad (33)$$

Нерівність (34) служить перевіркою для будь-якого набору сил, що входять у його ліву частину.

Залежності переміщення плоского копіра по головці коренеплоду на початку контакту наведені на рис. 4 та рис. 5.

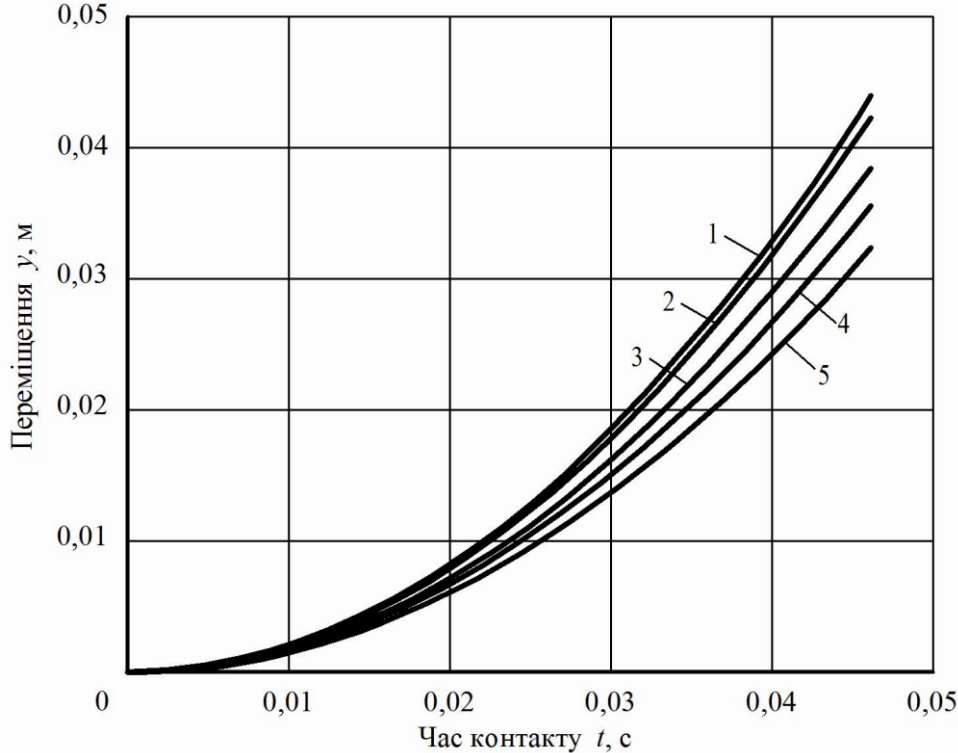


Рис.4. Залежності переміщення y копіра по головці коренеплоду від часу контакту t при куті нахилу α : 1 – $\alpha = 5^\circ$; 2 – $\alpha = 15^\circ$; 3 – $\alpha = 25^\circ$; 4 – $\alpha = 30^\circ$; 5 – $\alpha = 35^\circ$

Fig.4. Dependences of sensing member movement y on a root crop head from contact time at slope angle α : 1 – $\alpha = 5^\circ$; 2 – $\alpha = 15^\circ$; 3 – $\alpha = 25^\circ$; 4 – $\alpha = 30^\circ$; 5 – $\alpha = 35^\circ$

Аналізуючи рис. 4 та рис. 5 можна зробити висновок, що переміщення y більш інтенсивно зростає протягом контакту плоского копіра з коренеплодом цукрового буряку, а збільшення кута нахилу α призводить до зменшення значення переміщення y та x .

Використання надалі ПК із метою чисельного моделювання отриманих нових аналітичних залежностей дасть можливість визначити оптимальні кінематичні й конструктивні параметри копіювального пристрою гичкозбиральної машини. Так наприклад закон зміни швидкості \dot{y} копіра по головці коренеплоду від часу контакту t наведено на рис. 6.

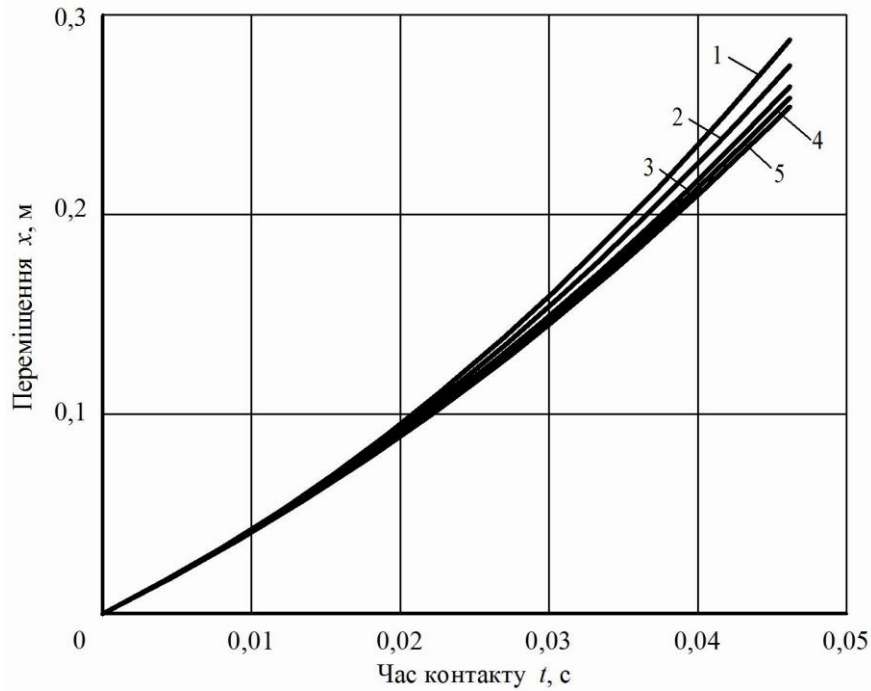


Рис.5. Залежності переміщення X копіра по головці коренеплоду від часу контакту t при куті нахилу α : 1 – $\alpha = 5^\circ$; 2 – $\alpha = 15^\circ$; 3 – $\alpha = 25^\circ$; 4 – $\alpha = 30^\circ$; 5 – $\alpha = 35^\circ$

Fig.5. Dependences of sensing member movement X on a root crop head from contact time at slope angle α : 1 – $\alpha = 5^\circ$; 2 – $\alpha = 15^\circ$; 3 – $\alpha = 25^\circ$; 4 – $\alpha = 30^\circ$; 5 – $\alpha = 35^\circ$

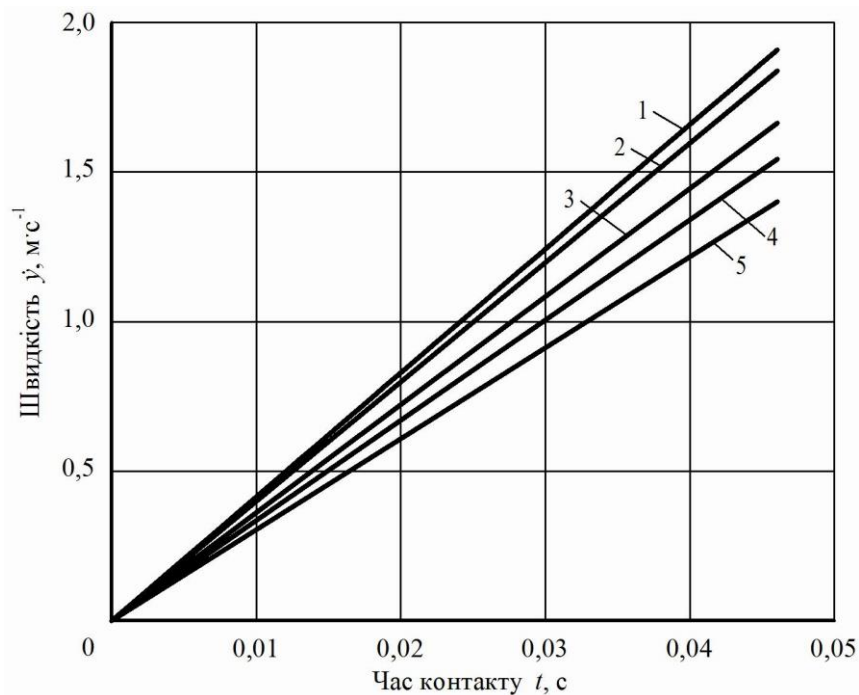


Рис.6. Залежності зміни швидкості \dot{y} копіра по головці коренеплоду від часу контакту t при куті нахилу α : 1 – $\alpha = 5^\circ$; 2 – $\alpha = 15^\circ$; 3 – $\alpha = 25^\circ$; 4 – $\alpha = 30^\circ$; 5 – $\alpha = 35^\circ$

Fig.6. Dependences of sensing member speed \dot{y} on a root crop head from contact time at slope angle α : 1 – $\alpha = 5^\circ$; 2 – $\alpha = 15^\circ$; 3 – $\alpha = 25^\circ$; 4 – $\alpha = 30^\circ$; 5 – $\alpha = 35^\circ$

Результатами проведених експериментальних досліджень [4] встановлено, що $[P_g]$ перебуває в межах 10...115 кгс. При значенні $[P_g] = 10$ кгс із м'якого ґрунту (твердістю 0,5... 1,0 МПа) вибивається в середньому понад 45% коренеплодів. Ці дані можна використати надалі при проведенні розрахунків.

Для оцінки інтенсивності коливань копіра при наїзді на головку коренеплоду при різних конструктивних параметрах необхідно знати його абсолютну швидкість залежно від часу контакту, вона дорівнює:

$$V_a = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} . \quad (34)$$

Результати чисельного моделювання отриманої системи рівнянь для визначення параметрів копіра при його русі по головці коренеплоду при поступальній швидкості $V = 1$ км·год⁻¹ представлені на рис. 7-9.

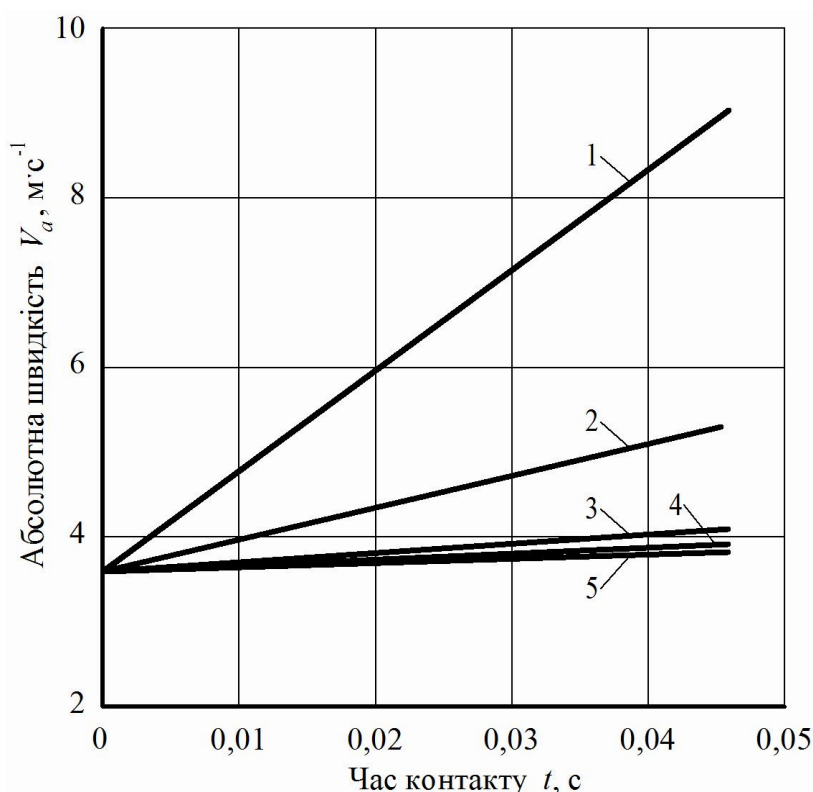


Рис.7. Залежності абсолютної швидкості V_a копіра від часу контакту t при куті нахилу $\alpha = 5^\circ$ для різної маси: 1 – $m = 1$ кг; 2 – $m = 3$ кг; 3 – $m = 10$ кг; 4 – $m = 15$ кг; 5 – $m = 20$ кг

Fig.7. Dependences of the absolute speed V_a of sensing member on interaction time t at inclination angle $\alpha = 5^\circ$ for different masses m : 1 – $m = 1$ kg; 2 – $m = 3$ kg; 3 – $m = 10$ kg; 4 – $m = 15$ kg; 5 – $m = 20$ kg

Таким чином, враховуючи, що при поступальній швидкості руху $V = 3,6$ м·с⁻¹ значення абсолютної швидкості V_a на початку контакту плоского копіра з коренеплодом цукрового буряка може перевищувати її в 2..2,5 рази і стрімко зростає за дуже короткий проміжок часу, то обрати конструктивні параметри копіра та його системи підвісу, без вищенаведених залежностей та розробленої математичної моделі не представляється можливим.

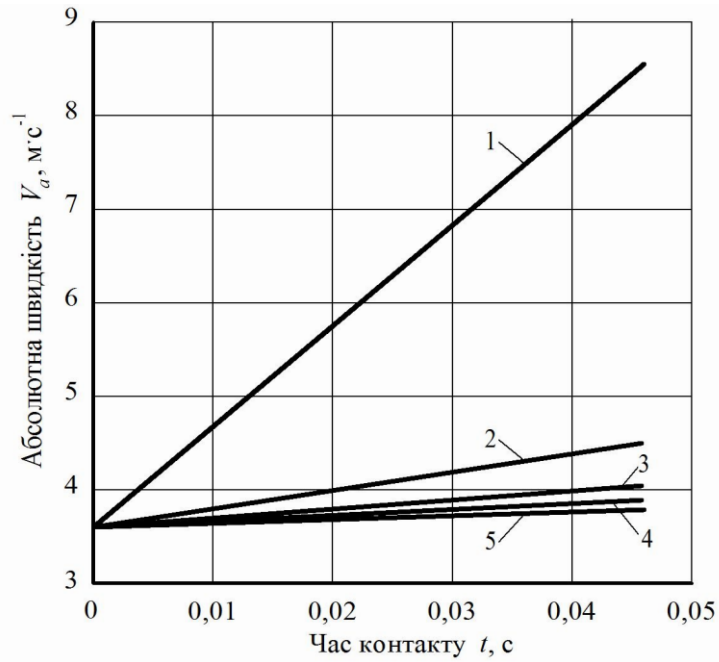


Рис.8. Залежності абсолютної швидкості V_a копіра від часу контакту t при куті нахилу $\alpha = 15^\circ$ для різної маси: 1 – $m = 1$ кг; 2 – $m = 3$ кг; 3 – $m = 10$ кг; 4 – $m = 15$ кг; 5 – $m = 20$ кг

Fig.8. Dependences of the absolute speed V_a of sensing member on interaction time t at inclination angle $\alpha = 15^\circ$ for different masses m : 1 – $m = 1$ kg; 2 – $m = 3$ kg; 3 – $m = 10$ kg; 4 – $m = 15$ kg; 5 – $m = 20$ kg

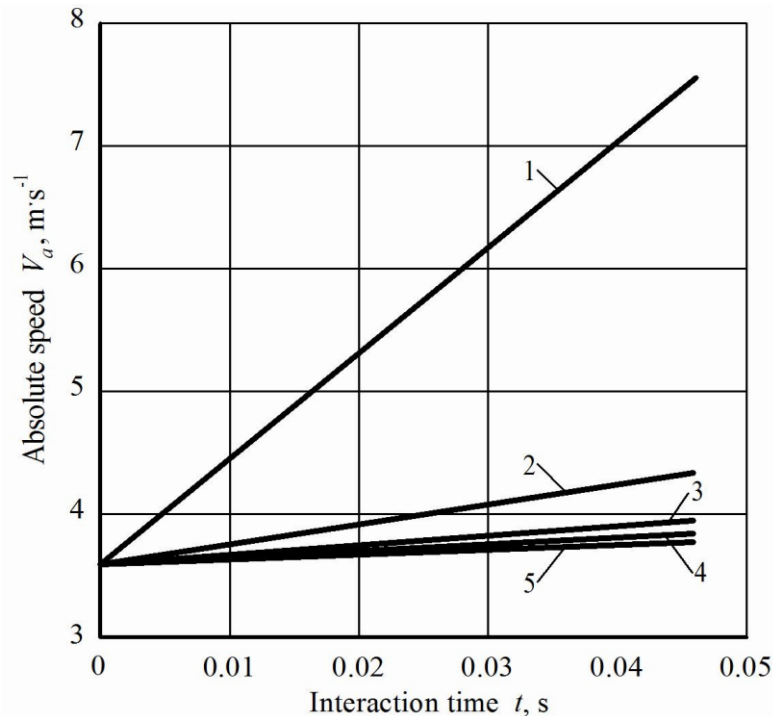


Рис.9. Залежності абсолютної швидкості V_a копіра від часу контакту t при куті нахилу $\alpha = 35^\circ$ для різної маси: 1 – $m = 1$ кг; 2 – $m = 3$ кг; 3 – $m = 10$ кг; 4 – $m = 15$ кг; 5 – $m = 20$ кг

Fig.9. Dependences of the absolute speed V_a of sensing member on interaction time t at inclination angle $\alpha = 35^\circ$ for different masses m : 1 – $m = 1$ kg; 2 – $m = 3$ kg; 3 – $m = 10$ kg; 4 – $m = 15$ kg; 5 – $m = 20$ kg

З отриманих залежностей видно, що збільшення маси m копіра до 10 кг приводить до значного зменшення його абсолютної швидкості при всіх значеннях кута нахилу копіра α , а значить і вертикальних коливань. Аналогічно впливає на коливання копіра й збільшення кута α нахилу його щодо напрямку руху.

Висновки

1. Розроблено нову конструкцію обрізувача головок коренеплодів цукрового буряка на корені, експериментальні дослідження й виробничі випробування дали позитивні результати, що підтверджують його ефективну роботу й високу якість обрізки головок коренеплодів.

2. Розроблено нову теорію процесу взаємодії пасивного копіра з головою коренеплоду цукрового буряка. Для чого розроблена силова схема взаємодії пасивного копіра й сферичної поверхні головки коренеплоду буряка. При цьому контакті враховуються пружнодемпфуючі властивості залишків гички (черешків), які представлені у вигляді моделі із пружними й в'язкими властивостями. У точках контакту на зазначених схемах прикладені всі діючі при цьому сили.

3. З використанням основного закону динаміки складена нова система диференціальних рівнянь, що описує рух плоского пасивного копіра по сферичній поверхні головки коренеплоду цукрового буряка, на якій містяться залишки гички. Після подвійного інтегрування отримані закони зміни швидкості переміщення й самого переміщення плоского пасивного копіра по головці коренеплоду на початку контакту. При цьому врахована умова не вибивання тіл коренеплодів буряка із ґрунту.

4. Використання отриманих нових аналітичних залежностей і результатів конкретних чисельних розрахунків на ПК при розробці й проектуванні бурякозбиральних машин сучасного технічного рівня забезпечить істотне поліпшення якості гички й коренеплодів цукрового буряка при їхньому механізованому збиранні.

Бібліографія

1. Bulgakov V. Study on the interaction of feeler and roots within the topping process of sugar beet. – Bulletin of the Transylvanian University of Braşov. Vol. 9 (44) – New Series. Series A, 2002. – p. 79-84.
2. Погорельый Л. В. Свеклоуборочные машины. Конструирование и расчет / Л. В. Погорельый, Н. В. Татьянако, В. В. Брей, А. С. Кравченко, А. А. Покуса, В. Г. Карпов. Под общ. ред. Л. В. Погорелого. – К.: Техніка, 1983. – 168 с.
3. Хелемендик М. М. Підвищення механіко-технологічної ефективності трудомістких процесів у буряківництві: дис...д-ра техн. наук: 05.20.04; 05.20.01 / М. М. Хелемендик; УААН, Волинська держ. сільськогосподарська дослідна станція. – Луцьк, 1996. – 347 с.
4. Погорельый Л. В. Исследование и разработка технологического процесса отделения ботвы от корней сахарной свеклы: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.11 / Л. В. Погорельый. – Киев: УСХА, 1964. – 24 с.
5. Мишин М. А. Исследование и обоснование параметров рабочих органов для доочистки головок корней сахарной свеклы от остатков ботвы.: автореф. дис. канд. техн. наук / М. А. Мишин. – Москва: ВИСХОМ, 1981. – 23 с.
6. Огуречников Н. А. Изыскание, исследование и обоснование технологического процесса и рабочих органов для очистки головок сахарной свеклы: автореф. дис. канд. техн. наук / Н. А. Огуречников. – Минск, ЦНИИМЭСХ, 1977. – 14 с.
7. Мартыненко В. Я. Разработка конструкций и определение эксплуатационных параметров очистителей головок корнеплодов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.04 / В. Я. Мартыненко. – Тернополь: ТПИ, 1992. – 25 с.
8. Мартыненко В. Я. Обоснование конструктивных параметров очистителей головок корнеплодов / В. Я. Мартыненко // Материалы международной научно-практической конференции: “Проблемы и перспективы создания свеклоуборочной техники”. – Винница, 1996. – С. 41-44.
9. Гурченко А. П. Механизация уборки ботвы сахарной свеклы / А. П. Гурченко, Я. В. Савченко // Техника в сельском хозяйстве. – Москва: Урожай, 1986. – № 9. – С. 15-17.
10. Гурченко А. П. Чем убирать ботву кормовой свеклы? / А. П. Гурченко, А. Ф. Завгородний и др. // Механизация сельского хозяйства. – Киев, 1987. – № 8. – С. 24-25.
11. Босой Е. С. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: учебник для

вузов сельскохозяйственного назначения / Е. С. Босой, О. В. Верняев, И. И. Смирнов, Е. Г. Султан-Шах; под ред. Е. С. Босого. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1978. – 568 с.

12. Бутенин Н. В. Курс теоретической механики / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. – Том 2. – Москва: Наука, 1985. – 496 с.

13. Василенко П. М. Введение в земледельческую механику / П. М. Василенко. – Киев: Сельхозобразование, 1996. – 252 с.

14. Погорельый Л. В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л. В. Погорельый, Н. В. Татьянако. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.

15. Булгаков В. М. Бурякозбиральні машини. Монографія / В. М. Булгаков. – Київ: Аграрна наука, 2011. – 351 с.

Reference

1. Bulgakov V. Study on the interaction of feeler and roots within the topping process of sugar beet. – Bulletin of the Transylvanian University of Braşov. Vol. 9 (44) – New Series. Series A, 2002. – p. 79-84.

2. Pogorelyiy L. V. Sveklouborochnyye mashinyi. Konstruirovaniye i raschet / L. V. Pogorelyiy, N. V. Tatyanko, i dr. – K.: Tehnika, 1983. – 168 s.

3. Khelemendyk M. M. Pidvyshchennia mekhaniko-tekhnologichnoi efektyvnosti trudomistkykh protsesiv u buriakivnytstvi: dys...d-ra tekhn. nauk: 05.20.04; 05.20.01 / M. M. Khelemendyk: UAAN, Volynska derzh. silskohospodarska doslidna stantsiia. – Lutsk, 1996. – 347 s.

4. Pogorelyiy L. V. Issledovanie i razrabotka tehnologicheskogo protsessa otdeleniya botvyi ot korney saharной sveklyi: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.20.11 / L. V. Pogorelyiy. – Kiev: USHA, 1964. – 24 s.

5. Mishin M. A. Issledovanie i obosnovanie parametrov rabochnih organov dlya doochistki golovok korney saharной sveklyi ot ostatkov botvyi: avtoref. dis. kand. tehn. nauk / M. A. Mishin. – Moskva: VISHOM, 1981. – 23 s.

6. Ogurechnikov N. A. Izyiskanie, issledovanie i obosnovanie tehnologicheskogo protsessa i rabochnih organov dlya ochistki golovok saharной sveklyi: avtoref. dis. kand. tehn. nauk / N. A. Ogurechnikov. – Minsk, TsNIIMESH, 1977. – 14 s.

7. Martyinenko V. Ya. Razrabotka konstruktsiy i opredelenie ekspluatatsionnyih parametrov ochistiteley golovok korneplodov: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.20.04 / V. Ya. Martyinenko. – Ternopol: TPI, 1992. – 25 s.

8. Martyinenko V. Ya. Obosnovanie konstruktivnyih parametrov ochistiteley golovok korneplodov / V. Ya. Martyinenko // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: “Problemy i perspektivy sozdaniya sveklouborochnoy tehniki”. – Vinnitsa, 1996. – S. 41-44.

9. Gurchenko A. P. Mehanizatsiya uborki botvyi saharной sveklyi / A. P. Gurchenko, Ya. V. Savchenko // Tehnika v selskom hozyaystve. – Moskva: Urozhay, 1986. – № 9. – S. 15-17.

10. Gurchenko A. P. Chem ubirat botvu kormovoy sveklyi / A. P. Gurchenko, A. F. Zavgorodniy i dr. // Mehanizatsiya selskogo hozyaystva. – Kiev, 1987. – № 8. – S. 24-25.

11. Bosoy E. S. Teoriya, konstruktsiya i raschet selskohozyaystvennyih mashin: uchebnik dlya vuzov selskohozyaystvennogo naznacheniya / E. S. Bosoy, O. V. Vernyayev, I. I. Smirnov, E. G. Sultan-Shah; pod red. E. S. Bosogo. – 2-e izd. pererab. i dop. – Moskva: Mashinostroenie, 1978. – 568 s.

12. Butenin N. V. Kurs teoreticheskoy mehaniki / N. V. Butenin, Ya. L. Lunts, D. R. Merkin. – Tom 2. – Moskva: Nauka, 1985. – 496 s.

13. Vasilenko P. M. Vvedenie v zemledelcheskuyu mehaniku / P. M. Vasilenko. – Kiev: Selhospobrazovanie, 1996. – 252 s.

14. Pogorelyiy L. V. Sveklouborochnyye mashinyi: istoriya, konstruktsiya, teoriya, prognoz / L. V. Pogorelyiy, N. V. Tatyanko. – K.: Feniks, 2004. – 232 s.

15. Bulgakov V. M. Buryakozbiralni mashini. Monografiya / V. M. Bulgakov. – K.: Agrarna nauka, 2011. – 352 s.

Reference

1. Bulgakov V. Study on the interaction of feeler and roots within the topping process of sugar beet. – Bulletin of the Transylvanian University of Braşov. Vol. 9 (44) – New Series. Series A, 2002. – pp. 79-84.

2. Pogorelyiy L. V. Sugar-beet harvesting machines. Design and calculation (In Russian language) / L. V. Pogorelyiy, N. V. Tatyanko, i dr. – K.: Tehnika, 1983. – 168 p.

3. Khelemendyk M. M. Increased mechanical and technological efficiency of labor-intensive processes in sugar beet production: doct. dis. of tech. sciences: 05.20.04; 05.20.01 / M. M. Khelemendyk: UAAN, Volynska derzh. silskohospodarska doslidna stantsiia. – Lutsk, 1996. – 347 p.

4. Pogorelyiy L. V. Research and development of the technological process of separation of the tops from the roots of sugar beet: avtoref. cand. dis. of tech. sciences: 05.20.11 / L. V. Pogorelyiy. – Kiev: USHA, 1964. – 24 p.

5. Mishin M. A. Research and justification of the parameters of working organs for additional cleaning of sugar beet roots heads from tops remains: thesis. of cand. dis. of tech. sciences / M. A. Mishin. – Moscow: VISHOM, 1981. – 23 p.
6. Ogurechnikov N. A. Research, investigation and justification of the technological process and working organs for cleaning sugar beet heads: thesis. of cand. dis. of tech. sciences / N. A. Ogurechnikov. – Minsk, TsNIIMESH, 1977. – 14 p.
7. Martyinenko V. Ya. Development of structures and determination of operational parameters of root crops head cleaners: thesis. of cand. dis. of tech. sciences: 05.20.04 / V. Ya. Martyinenko. – Ternopol: TPI, 1992. – 25 p.
8. Martyinenko V. Ya. Substantiation of constructive parameters of root cleaner heads / V. Ya. Martyinenko // Materials of the international scientific-practical conference: "Problems and perspectives of the creation of sugar beet harvesting equipment". – Vinnitsa, 1996. – pp. 41-44.
9. Gurchenko A. P. Mechanization of harvesting of sugar beet tops / A. P. Gurchenko, Ya. V. Savchenko // Machinery in agriculture. – Moscow: Urozhay, 1986. – № 9. – pp. 15-17.
10. Gurchenko A. P. How to clean the tops of fodder beet / A. P. Gurchenko, A. F. Zavgorodniy i dr. // Mechanization of agriculture. – Kiev, 1987. – № 8. – pp. 24-25.
11. Bosoy E. S. Theory, design and calculation of agricultural machines: a textbook for high schools of agricultural designation / E. S. Bosoy, O. V. Vernyayev, I. I. Smirnov, E. G. Sultan-Shah; edited by E. S. Bosoy. – 2-nd ed. Revised and enlarged. – Moscow: Mashinostroenie, 1978. – 568 p.
12. Butenin N. V. Course of theoretical mechanics (In Russian language) / N. V. Butenin, Ya. L. Lunts, D. R. Merkin. – Vol. 2. – Moskva: Nauka, 1985. – 496 p.
13. Vasilenko P. M. Introduction to agricultural mechanics (In Russian language) / P. M. Vasilenko. – Kiev: Selhozobrazovanie, 1996. – 252 p.
14. Pogorelyiy L. V. Sugar-beet harvesting machines: history, design theory, forecast (In Russian language) / L. V. Pogorelyiy, N. V. Tatyanko. – K.: Feniks, 2004. – 232 p.
15. Bulgakov V. M. Sugar-beet harvesting machines. Monograph (In Ukrainian language). / V. M. Bulgakov. – K.: Agrarna nauka, 2011. – 352 p.