

УДК 633.63; 631.35

**І.Закалов, О.Закалов, канд.техн.наук, Я.Козібрда, канд.техн.наук,  
П.Ясній, докт.техн.наук**

*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИКОПУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ЛЕМЕШОВИМИ КОЛИВНИМИ КОПАЧАМИ**

*Вироблено математичну модель процесу викопування цукрових буряків лемешовими коливними робочими органами бурякозбиральних машин, а також методику визначення оптимальних геометричних і кінематичних параметрів лемешових вібраційних копачів, що ґрунтується на взаємодії коренеплоду з робочими органами і ґрунтом з урахуванням швидкості руху машини.*

Удосконалення технологічного процесу викопування цукрових буряків і бурякозбиральної техніки значно залежить від створення нових конструкційних вирішень викопувальних робочих органів корнезбиральних машин.

Аналіз роботи відомих викопувальних робочих органів показує їх залежність від фізико-механічних властивостей коренеплодів і ґрунту, кліматичних умов, урожайності бурякової плантації і низки інших факторів [1,2,3]. Відомо, що процес викопування цукрового буряка можна поліпшити, якщо робочий орган (копач) витягуватиме коренеплід без землі. Тому треба шукати нові, більш ефективні методи і технічні засоби активного руйнування в'язей коренеплоду з ґрунтом.

Одним з напрямків поліпшення технологічних показників процесу викопування коренів цукрового буряка є використання вібраційного принципу впливу на ґрунтовий пласт, зокрема, за допомогою викопувальних робочих органів, що вимушено коливаються [2]. Однак спроби використати вібраційний спосіб руйнування зв'язків коренеплодів із землею при виробленні конструктивно-технологічних схем копачів ускладнюється через низьку технологічну і технічну надійність копачів і їх приводів.

Враховуючи випадковий характер усіх факторів (фізико-механічні властивості коренеплодів, вологість і твердість ґрунту, урожайність плантації, рельєф поля, засміченість посівів та ін.), що обумовлюють процес викопування коренів із ґрунту,

доцільно вивчати його з використанням методів математичного моделювання. У роботі розглядається математична модель процесу викопування коренеплідів цукрового буряка лемшовими викопувальними робочими органами з вимушеними коливаннями.

Дослідами встановлено [1], що при багаторазовому прикладанні знакозмінних навантажуваль до коренеплоду його в'язі з ґрунтом інтенсивно руйнуються, і коренеплід починає рухатися на поверхню. Проте нема теоретичного обґрунтування вибору параметрів (частоти і амплітуди) навантажуваль на коренеплід у їх взаємозв'язку з швидкістю руху бурякозбиральної машини.

Точне аналітичне дослідження системи "корінь-ґрунт" при дії на неї імпульсних навантажуваль дуже складне, оскільки механізм дії на коренеплід, який рухається в ньому, має динамічний характер. Тому для якісного аналізу коливань коренеплідів різних розмірів і способів закріплення скористаємося спрощеною моделлю, в якій коренеплід представлений твердим тілом конусоподібної форми, закріпленням у ґрунті з одним ступенем вільності. Вісь коренеплоду в недеформованому стані прямолинійна і збігається з лінією центрів ваги його поперечних перерізів.

Витягування коренеплідів з ґрунту за допомогою викопувальних робочих органів можна поділити на декілька етапів.

На першому етапі лемшовий копач вирізує різальним лезом пласт ґрунту у рядку. Після цього ґрунт навколо коренеплоду починають стискати робочі поверхні викопувального органу. В певний момент часу зусилля стиску досягають такого значення, при якому коренеплід починає переміщуватися разом з ґрунтом у вертикальному напрямку до повного звільнення його в'язей з ґрунтом. На завершальному етапі звільнений коренеплід переміщується разом із ґрунтом руслом лемшових копачів до очисників. Зрозуміло, що чіткої межі між вказаними процесами встановити неможна, проте протягом певного часу домінує один з них, тому с підстава розглядати кожен із вказаних процесів окремо як певну модель реального процесу.

Форму робочої поверхні лемшового копача, як інших робочих органів для обробки ґрунту, можна подати у вигляді тригранного клина. Різальне лезо лемшового копача працює на шар ґрунту на глибині  $h$  у горизонтальному напрямку (рис.1).

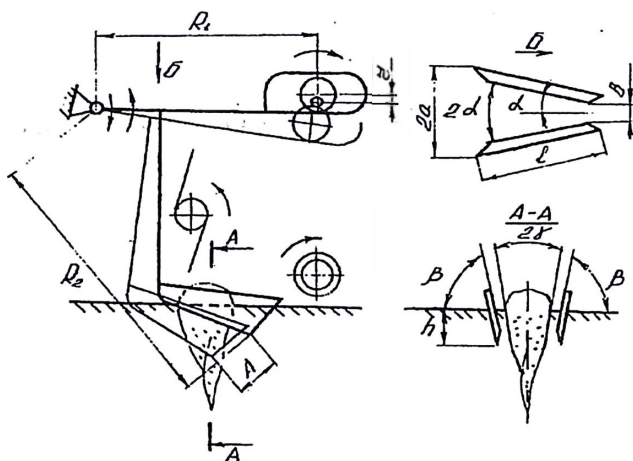


Рис.1. Схема лемшового віброкопача

Початок його дії на ґрунт характеризується зменшенням об'єму ґрунту, який при цьому ущільнюється. Стиск ґрунту приводить до зростання опору руху лемешовому копачеві, розмір якого залежить від кута підйому  $\alpha$  клина лемеша і механічних властивостей ґрунту [5]. Відомо, що внаслідок деформації ґрунту він стає пластичним [2] і в зоні леза копача в ньому виникають тріщини. Розрізняють два види руйнувань ґрунту: від нормальних напружень—відрив; від дотичних—зсув.

Тимчасовий опір відриву для більшості ґрунтів у 2,0-2,5 раза менший від значення тимчасового опору зсуву. Ця властивість ґрунтів важлива при розв'язанні питання енергомосткості копачів. Відповідно при великих значеннях кута підйому  $\alpha$  клина лемеша шар ґрунту не ковзає робочими поверхнями догори, а починає зосереджуватися в зоні дії клина лемеша, тобто замість відриву відбувається зсув тоді, коли сума кутів тертя  $\phi$  і підйому клина  $\alpha$  перевищує  $90^\circ$ .

При русі копача стискується ґрунт між робочими поверхнями лемешів і коренеплоду, розмір і напрямок стиску залежать від стану ґрунту і параметрів копача. За основні параметри копача вибираємо кути розкривання у вертикальній площині  $2\gamma$  і в горизонтальній  $-2\alpha$ ; ширину розкривання  $2a$  і довжину русла  $l$ .

На коренеплід тисне прошарок ґрунту, при цьому створюється сила підпору і виникає результативна витягувальна сила  $P_a$  (рис.2). Умовою витягування коренеплодів є перевищення вертикальною складовою витягувальної сили  $P_a$  зусилля опору:

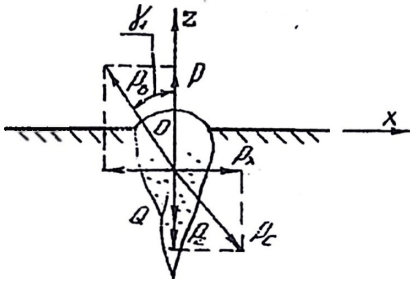


Рис.2. Схема сил, що діють на коренеплід

$$P_a \cos \gamma_1 \geq m z + P_z + Q, \quad (1)$$

де  $P_a$  - зусилля витягування;  
 $P_z$  - зусилля опору коренеплоду вертикальному переміщенню;  
 $Q$  - вага коренеплоду;  
 $m$  - маса коренеплоду;  
 $\gamma_1$  - кут між силою витягування  $P_a$  і вертикальною віссю  $z$ ;  
 $Z$  - прискорення центру мас буряка вздовж осі  $z$ .

Важливе значення при оцінці роботи лемешових копачів має рівень пошкодження коренеплодів.

Допускова вертикальна сила, при якій пошкоджується коренеплід, визначається з умови:

$$P_a \cos \delta_x \geq m x + P_x, \quad (2)$$

де  $P_x$  - зусилля опору коренеплоду горизонтальному переміщенню;  
 $x$  - прискорення центру мас буряка відносно осі  $x$ .

Результати досліджень показують, що витягувальна сила  $P_a$  визначається значеннями кінематичних та геометричних параметрів робочих поверхонь леза копача. Визначимо геометричні параметри лемешового копача, а також параметри коренеплоду і ґрунту. Основними геометричними параметрами лемешового віброкопача, які визначають якість виконання технологічного процесу, є кут розкривання у вертикальній площині  $2\gamma$ , ширина розкривання копачів на вході  $2a$  і ширина зазору  $b$  на виході робочого русла. Кінематичними параметрами віброкопача є частота коливань  $f$  і амплітуда  $A$ . Ширина розкривання копачів  $2a$  визначається:

$$2a = 2 \left[ (d_k/2 + \Delta a) \sin \alpha + \Delta y + \Delta y_k \right], \quad (3)$$

де  $d_k$  - діаметр найбільшого коренеплоду (120 мм);

Δа – товщина запобіжного шару ґрунту між тілом кореня і лемешем (20-30мм);  
 Δу<sub>к</sub> – відхилення центрів коренів від осевої лінії рядка (40мм);  
 Δу – найбільше відхилення від осевої лінії рядка обумовлена похибкою системи автоматичного керування корсезбиральними машинами (5-30мм).

Приймімо найбільші значення цих параметрів і визначмо мінімальну величину ширини розкривання копачів 2а=260мм. Величину зазору в робочому руслі на виході приймаємо з розрахунку найменшого діаметра стандартного коренеплоду:

$$b \leq d_{\min}. \quad (4)$$

Для запобігання згущенню ґрунту перед копачем і завалів коренеплодів значення кута α повинно вибиратися з умов ковзання ґрунту і коренеплодів робочою поверхнею лемеша всередині копача. Для виконання цієї вимоги необхідно дотримуватися умови

$$\alpha < \varphi_{\min}, \quad (5)$$

де  $\varphi_{\min}$  – найменший кут тертя при русі ґрунту поверхнею лемеша.

При роботі в умовах заниженої вологості для чорноземів  $\varphi_{\min} 18^{\circ}$ . Дальше зменшення кута α не є ефективним, тому вибираємо  $15^{\circ} < \alpha < 18^{\circ}$ .

Кут β вибирається залежно від кута конусності коренеплоду за формулою:

$$\beta \leq 90^{\circ} - \gamma, \quad (6)$$

де γ – кут конусності коренеплоду і за статистичними даними  $\gamma = 9,45^{\circ} - 18,38^{\circ}$ . Тоді  $\beta = 70^{\circ} - 80^{\circ}$ .

Для визначення кінематичних параметрів копачів з коливальним рухом розглянемо процес взаємодії віброкопача системи «корінь-ґрунт». Щоб кожен коренеплід отримав хоча б один імпульс, необхідно виконати умову:

$$m \geq n, \quad (7)$$

де m – кількість імпульсів на одному погонному метрі рядка при швидкості руху машини  $V_m$  і мінімальній частоті коливань копача  $f_{\min}$ ,

n – середня кількість коренів на одному погонному метрі рядка,  $n = 5-6$  шт.

Для підвищення ймовірності отримання одного імпульса навантажування кожним коренеплодом при коливанні лемешового копача приймаємо, що коренеплоди з середнім діаметром  $d_{cp}$  розміщені в рядку впритул один до одного ( $d_{cp}$  – в метрах). Тоді

$$n = 1 / d_{cp},$$

$$\text{при } f_{\min} / V_m \geq n, \quad f_{\min} \geq n V_m, \quad (8)$$

$$\text{при } f_{\min} / V_m \geq 1 / d_{cp}, \quad f_{\min} \geq V_m / d_{cp}. \quad (9)$$

З рівнянь (8) і (9) можна визначити діапазон найменших частот коливань лемешів, при яких виконується умова (7).

При робочій швидкості машини  $V_m = 1,9-2,8$  м/с, середній кількості коренів на одному погонному метрі  $n = 5$  кор/м і середньому діаметрі коренеплодів  $d_{cp} = 0,08$  м мінімальна частота коливань лемешових робочих органів буде

$$f_{\min} = (9 \dots 35) \text{ с}^{-1}.$$

Для визначення області ефективних значень амплітуди коливань необхідно встановити її зв'язок з частотою коливань і швидкістю руху машини. В'язі коренеплоду з ґрунтом найбільш ефективно руйнуються при імпульсному навантаженні, і умова створення цих навантажень виконується, коли швидкість вібрації  $V_v$  будь-якої точки при коливанні лемеша більша за швидкість руху машини  $V_m$ :

$$V_v > V_m$$

Коли  $V_v = 4Af$ , де  $A$  - амплітуда коливань (м), то  $A > V_m / f$ .

Оскільки коливання лемшового копача відбуваються за допомогою ексцентрика, то амплітуду коливань можна подати через радіус ексцентрика  $r$

$$A = 2r R_2 / R_1, \quad (10)$$

де  $R_1$  - віддаль від осі коливань копача до осі обертання ексцентрика,

$R_2$  - віддаль від осі коливань копача до крайньої точки копача (рис.1).

Вироблено методику визначення оптимальних геометричних і кінематичних параметрів вібраційних лемшових копачів, що ґрунтується на взаємодії коренеплоду з робочими органами і ґрунтом з урахуванням швидкості руху машини.

*The mathematical model of the process of sugar beet digging out by vibrational working organs of beet-haversters was developed, and also the technique of the definition of optimum geometric and kinematic parameters of ploughshares, which is based on reviewing of interaction of a root crop with working organs and ground from the point of view of a velocity of driving of the machine.*

#### Література

1. Грянк Г.Н. Об эффективном способе выкапывания сахарной свеклы // Механизация сельского хозяйства.-№10.- 1962.
2. Василенко П.М., Погорель Л.В., Брей В.В. Вибрационный способ уборки корнеплодов // Механизация сельского хозяйства, 1970.-№2.
3. Брей В.В. Исследование и разработка механизированного процесса извлечения из почвы корней сахарной свеклы. - Киев, 1972.
4. Лунев В.П. Применение вибрационных подкапывающих органов при уборке сахарной свеклы // Наука-производству.- Воронеж, 1967.
5. Грюкач Б.И. К теоретическому обоснованию и расчету некоторых параметров выкапывающего рабочего органа свеклоуборочных машин.: Исследование и изыскание новых рабочих органов свеклоуборочных машин.-М., 1979.