

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**АНДРУЩЕНКО ДМИТРО ВАЛЕНТИНОВИЧ**

УДК 621.81

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ  
НАВІСНИХ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Д. В. Андрущенко

**Керівник роботи**

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук, доцент

**Житомир – 2020**

## АНОТАЦІЯ

**Андрущенко Дмитро Валентинович. Розроблення конструкції та обґрунтування параметрів навісних коренезбиральних машин. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В роботі розглядаються питання підвищення якості збирання коренеплодів шляхом розробки та модернізації конструкції і розрахунку раціональних параметрів екстрактора та роторно-пальцевого робочих органів коренезбиральних машин.

При проведенні аналізу процесу екстракції і сепарації вороху буряків було модернізовано нову компоновку навісної буряковикопувальної машини з технологічною здатністю доочистки коренеплодів. Теоретично обґрунтовано конструкційні параметри робочих органів за умови зменшення їх пошкоджень і засмічення.

На основі теоретичних розрахунків розроблено нові способи проектування навісних коренезбиральних машини з технологічною здатністю очистки буряків, визначення очікуваного економічного ефекту при застосуванні нової конструкції машини. Побудовано аналітичні, графічні залежності для визначення динамічних показників роторно- пальцевого сепаратора з визначенням силових параметрів, від коефіцієнта сепарації земляного вороху

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *кореневикопувальна машина, коренеплоди, сепарація, леміш, конструювання.*

## ANNOTATION

Andrushchenko Dmitry. **Development of construction and substantiation of parameters of hinged root-harvesting machines.** - Qualification work on the rights of the manuscript. Qualification work for a master's degree in 208 Agroengineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The paper considers the issues of improving the quality of root crop harvesting by developing and modernizing the design and calculation of rational parameters of the extractor and rotary-finger working bodies of root-harvesting machines. During the analysis of the process of extraction and separation of the heap of beets, a new layout of the mounted beet digging machine with the technological ability to purify the roots was modernized. The design parameters of working bodies under the condition of reduction of their damages and clogging are theoretically substantiated. On the basis of theoretical calculations new methods of designing hinged root-harvesting machines with technological ability of beet cleaning, determination of the expected economic effect at application of a new design of the machine are developed. Analytical, graphical dependences for determination of dynamic indicators of the rotor-finger separator with determination of force parameters, from the coefficient of separation of the earth heap are constructed.

***KEYWORDS: root digger, root crops, separation, ploughshare, construction.***

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ	
1.1 Агротехнологічні параметри коренеплодів.....	8
1.2. Аналіз сучасних конструкцій машин для збирання коренеплодів.....	10
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНИ РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ І СЕПАРАЦІЇ КОРЕНЕПЛОДІВ ПРОЕКТОВАНОЮ МАШИНОЮ	
2.1 Модель роторного сепаратора коренеплодів.....	13
2.2 Обґрунтування параметрів роторного сепаратора коренеплодів.....	16
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СЕПАРАТОРА ВОРОХУ КОРЕНЕВИКОПУВАЛЬНОЇ МАШИНИ.....	22
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	27

## ВСТУП

Модернізація і розробка сучасних технологічних процесів збирання, сепарації коренеплодів та застосування високопродуктивних кореневикопувальних машин з технологічною здатністю доочистки коренеплодів, для невеликих приватних сільськогосподарських підприємств, забезпечує – підвищення якості збирання, роботоздатності та ефективності використання машин, продуктивності праці, зменшення витрат по логістиці транспортних задач та шкідливого впливу на ґрунт ходових систем і робочих органів с.-г. машин, і як наслідок, зростання економічних показників виробництва продукції рослинництва.

Завдання по модернізації технологічного і технічного рівня коренезбиральних машин, основними критеріями оптимізації є співвідношення пошкодження, засміченості та втрат до їх зібраної маси є досить актуальною в плані розробки та удосконалення і покращення їх конструкційно-технологічних параметрів. Узагальнюючи вище наведене, однією із актуальних задач, направлених на розробку та проектування раціональних параметрів і вихідних показників реалізації технологічного процесу збирання, є розробка нових більш ефективних робочих органів для екстракції і сепарації вороху коренеплодів від домішок, що сприяє більш якісному виконанню технологічного процесу збирання та покращення агротехнологічних показників бурякозбиральних машин.

**Мета та задачі роботи.** *Метою роботи* – підвищення якості екстракції і сепарації вороху коренеплодів шляхом розробки та розрахунку конструкційно-технологічних параметрів кореневикопувальних робочих органів .

Шляхом досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз процесу екстракції і сепарації вороху коренеплодів відомих конструкцій машин і спроектувати модернізовану конструкційно-технологічну схему коренезбиральної машини з технологічною здатністю

очистки вороху буряків;

- теоретично обґрунтувати конструкційні параметри робочого органу для викопування та сепарації земляного вороху в умовах взаємодії з коренеплодами;

- побудувати аналітичні залежності з метою визначення характеристик роторно-пальцевого сепаратора при змінних його параметрах, і коефіцієнта сепарації.

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес збирання та сепарації коренеплодів.

*Предмет досліджень* – аналітичні залежності процесу екстракції і сепарації коренеплодів коренезбиральної машини.

*Методи дослідження.* При проведенні досліджень застосовувались методи теоретичної механіки та математичного аналізу і статистики. В процесі обґрунтуванні раціональних конструкційно-технологічних параметрів робочих органів машини використовувалось методи комп'ютерного моделювання, апріорного ранжування та морфологічний аналіз.

Апробація результатів роботи.

1. Заєць М. Л. Універсальний трьохрядний коренезбиральний пристрій. / М. Л. Заєць, Д. В. Андрущенко // Біоенергетичні системи: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф., Частина 2, 29 трав. 2020 р. Житомир : Вид.-во ПНУ, 2020. С. 134-137.
2. Заєць М. Л. Модель роторного очисника коренеплодів цукрових буряків. / М. Л. Заєць, Д. В. Андрущенко // Наукові читання–2020: Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики, 5-6 березня 2020 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. – с. 23-26.

### **Практичне значення отриманих результатів:**

– спроектовано і теоретично обґрунтовано модернізовану конструкцію навісної кореневикопувальної машини з одночасною сепарацією вороху буряків для невеликих ПСП та розраховано основні конструкційно-технологічні параметри екстрактора і сепаруючих робочих органів;

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменування. Загальний обсяг роботи становить 28 сторінок машинописного тексту, містить 2 таблиці і 11 рисунків.

# РОЗДІЛ 1

## СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

### 1.1 Агротехнологічні параметри коренеплодів

Агротехнологічні і експлуатаційні параметри роботи кореневикопувальних машин, в багатьох моментах залежать як від фізичико-механічного стану і типів ґрунтів, і від агрофізичних характеристик коренеплодів.

За звичай коренеплоди мають конусоподібне тіло головного кореня (рис. 1.1) [1 с. 24, 2, с. 35], від якого відходять в боки (на 20...25 см) дрібні корінці. Основна маса цукру (95...97 %) зосереджена в тілі кореня, що визначається довжиною  $l_k$ . Нижня хвостова частина головного кореня проникає глибоко в ґрунт (більше 1 м) і при викопуванні, як правило, обривається на діаметрі 8... 10 мм та залишається в ґрунті.

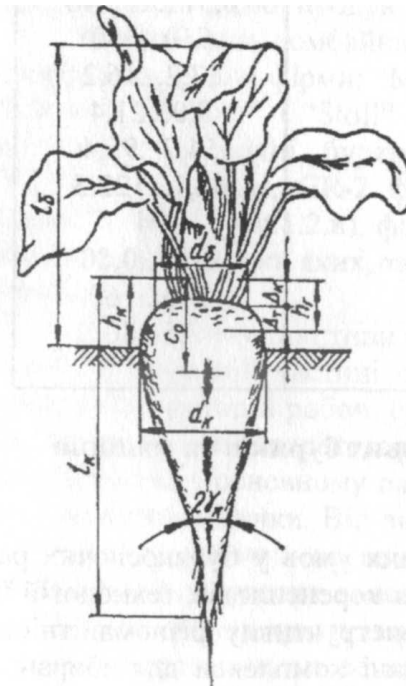


Рис.1.1. Агрофізичні характеристики коренеплоду цукрових буряків

$d_k$  - діаметр;  $l_k$  - довжина;  $d_b$  - діаметр пучка гички;  $h_2$  - висота головки коренеплоду;  $h_k$  - висота головки коренеплоду над рівнем ґрунту;  $S_0$  - координата



центра ваги;  $\Delta_k$  - товщина зони коронки;  $\Delta_m$  - товщина зони «вічок»;  $2\gamma_k$  - кут конусності

Розмірні і масові характеристики коренеплодів, а також їх розташування на полі є випадковими і коливаються в певних межах, вони представлені в табл. 1.1. [1, с. 43, 3 с. 48].

Таблиця 1.1

Розмірно-масові характеристики коренеплодів цукрових буряків

Показник	Значення показника
<u>Ширина міжрядь <math>B</math>, мм</u>	
- на поливних землях	$600 \pm 40$
- при звичайному	$450 \pm 30$
- при вузькорядному посіві	$300 \pm 30$
<u>Відстань між коренеплодами <math>L</math>, мм</u>	$180...350$
<u>Діаметр <math>d_k</math>, мм</u>	$67...122$
<u>Довжина <math>l_k</math>, мм</u>	$230...280$
<u>Кут конусності <math>\gamma_k</math>, град</u>	$9,45...18,38$
<u>Висота голівки <math>h_z</math>, мм</u>	$10,4...32,4$
<u>Висота над рівнем ґрунту <math>h_k</math>, мм</u>	$18,4...42,4$
<u>Маса коренеплоду <math>Q_k</math>, кг</u>	$0,311...1,548$
<u>Густина коренеплоду <math>\rho_k</math>, кг/м<sup>3</sup></u>	$550...650$
<u>Товщина зони коронки <math>\Delta_k</math>, мм</u>	$13,2...16,2$
<u>Товщина зони "вічок" <math>\Delta_m</math>, мм</u>	$8,0...21,4$
<u>Маса коронки <math>q_k</math>, г</u>	$54,7...95,4$
<u>Маса зони вічок <math>q_m</math>, г</u>	$62,1...122,5$
<u>Координата центра маси <math>S_o</math>, мм</u>	94
<u>Маса гички <math>Q_g</math>, кг</u>	$0,11...0,80$
<u>Густина гички <math>\rho_g</math>, кг/м<sup>3</sup></u>	$140...160$
<u>Урожайність коренеплодів, <math>Q_y</math> т/га</u>	$25...80$

## **1.2. Аналіз сучасних конструкцій машин для збирання коренеплодів**

Машини коренезбиральні самохідні, які призначені для збирання коренеплодів, з одночасним скошуванням гички та навантаженням у транспортні засоби.

При двофазному збиранні, окрім гичкозбиральної та коренезбиральної машин, може використовуватись третя машина – очищувач головок буряків.

Трифазне збирання здійснюють три машини: гичкозбиральна, копач-валкоукладач або сеператор та підбирач-навантажувач. Це все здійснюється за роздільним способом.

Для екстракції коренеплодів і укладання їх у валки застосовують копачі-валкоутворювачі KBЦБ-2,7 виробництва ВАТ “Борекс”, АЗК-6-02 виробництва ВАТ “Уманьферммаш”, R-6 "Kleine" та інші за призначенням машини зарубіжного виробництва.

В розвинутих країнах світу (Німеччині, США, Великобританії, Франції та інших країнах Евросоюзу), де коренеплоди вирощуються на великих площах, застосовують однофазні технології їх збирання найбільш ефективно і широко застосовуються 6-12 - рядні самохідні бункерні бурякозбиральні машини [4, с.1-5. 5, с. 1-9, 6, с. 1-15, 7, с. 1-16]. За один прохід вони виконують всі операції по видаленню гички, очистку головок коренеплодів від її залишків, екстракцію, накопичення коренеплодів в бункер і вивантаження в транспортний засіб.

Виготовляти комбайни даного типу в останні роки почали провідні зарубіжні фірми: "Holmer" і "Stoll" (Німеччина), "Matrot", "Moreau", "Herriau", (Франція), "Kleine" тощо.

Покращення процесу сепарації вороху коренеплодів забезпечують підпружинені в сторону робочої поверхні роторів пальцеві сепаратори (Пат. Франції №22168971) (рис. 1.2), Однак застосування в схемі сепаруючих пристроїв активних бокових направляючих значно ускладнює конструкцію і собівартість машини.

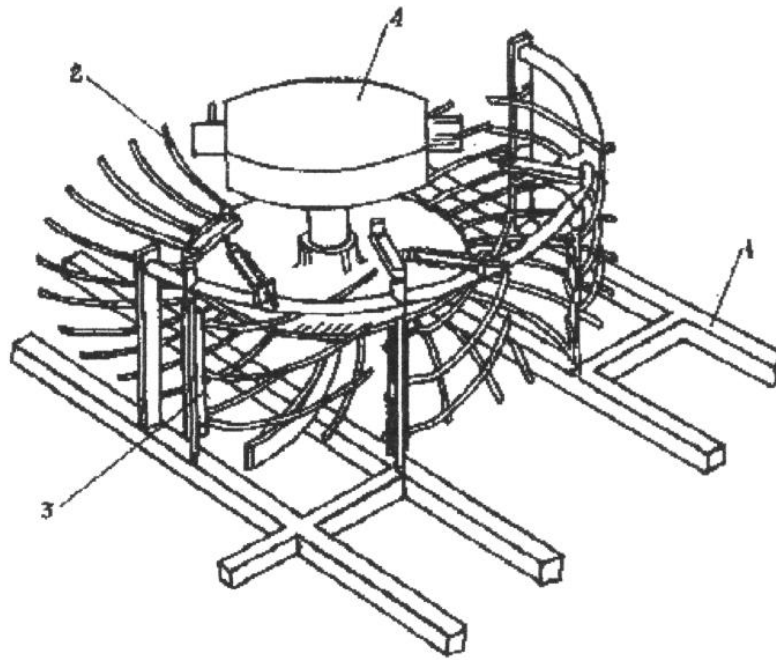


Рис 1.2. Однороторний очисник [7]:

- 1 – рама; 2 – очисний ротор; 3 – обмежуючі направляючі решітки;  
4 – редуктор приводу

Двороторні очисники, в основному, застосовуються в шестирядних коренезбиральних машинах (рис.1.3). При компонуванні машини двороторним очисником в зоні переходу вороху коренеплодів з очисника на транспортер застосовують активізуючі елементи, наприклад, вертикальні бітерні вали [8, с. 47].

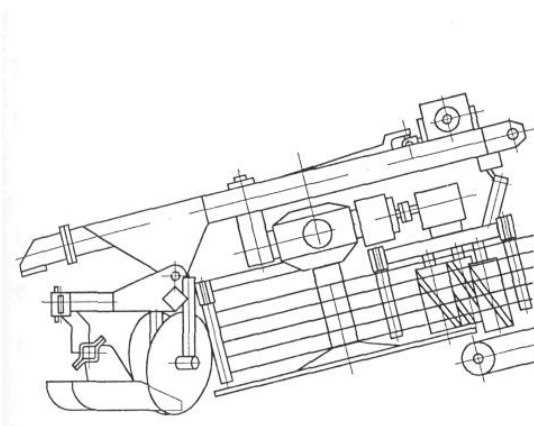


Рис. 1.3. Двороторний очисник з вертикальним розташуванням валів і пасивними робочими органами

Використання принципу знакоперемінного навантаження вороху коренеплодів, і повздовжнього розташування роторів покращує сепарацію, але недоліком є конструктивна та технологічна складність виготовлення такої схеми.

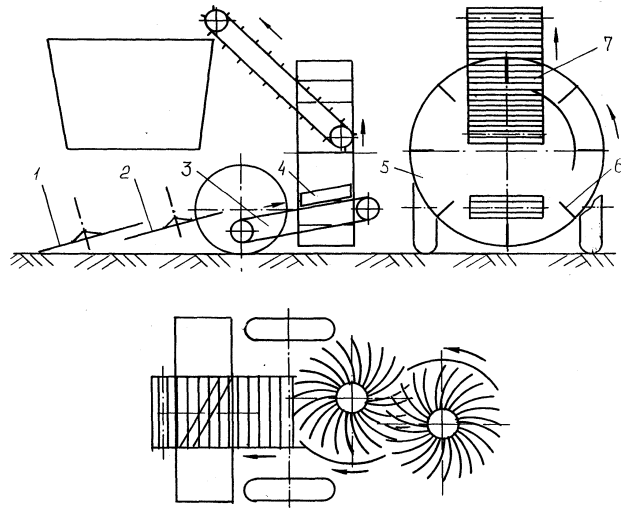


Рис.1.4. Принципова схема підбирача-навантажувача фірми “Тім”:

1 - ротор-підбирач; 2 – передавальний ротор; 3 – повздовжній конвеєр; 4 – направляч; 5 – барабанний транспортер; 6 – скребки; 7 – завантажувальний транспортер

Такі робочі органи у важких ґрунтово-кліматичних умовах характеризуються ненадійністю виконання технологічного процесу [8, с. 117].

#### Висновок до розділу 1

Провівши аналіз показників роботи коренезбиральних машин можна зробити наступний висновок, що існуючі конструкції екстракторів та інших робочих органів та їх компоновки в машинах не в повній мірі дозволяють досягти відповідної якості збирання коренеплодів, а існуючі конструкції сепараторів не забезпечують належного відділення з вороху домішок ґрунту та рослинних рештків, або є енергоємним та конструкційно складним.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНИ РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ І СЕПАРАЦІЇ КОРЕНЕПЛОДІВ ПРОЕКТОВАНОЮ МАШИНОЮ

#### 2.1 Модель роторного сепаратора коренеплодів

Теоретичні дослідження роботи моделі роторного сепаратора коренеплодів коренезбиральних машин зводиться до встановлення математичних залежностей взаємодії вхідних параметрів між собою і їх сукупного впливу на об'єкт дослідження, створення аналітичних рівнянь регресії залежностей агротехнологічних показників якості відділення роторного сепаратора коренеплодів від зміни конструкційно-кінематичних параметрів і механіко-технологічних параметрів.

Вхідними параметрами аналітичної моделі роторного сепаратора є:

Кінематичні:  $V_{мта}$  – швидкість руху МТА, м/с;  $V_{мп}$  – швидкість подачі коренеплодів транспортером в зону очищення, м/с;  $V_p$  – колова швидкість обертання ротора, м/с;

Конструкційні:  $\alpha$  – кут нахилу роторного очисника до напрямку руху машини, град;  $\beta$  – кут нахилу роторного очисника до горизонту, град;  $\gamma$  – кут встановлення пальців сепараторів, град;  $n$  – кількість очисних пальців ротора, шт;  $r$  – радіус кривизни пальців ротора, м. (рис. 2.1., 2.2.)

Механіко-технологічні:  $m_{кор}$  – маса коренеплодів, що подається в зону роторного очищення транспортером, кг;  $m_{гр}$  – маса ґрунту у вороху, кг;  $m_p$  – маса рослинних залишків, кг.

Вихідними параметрами розробленої машини є:

$Ч_c$  – чистота коренеплодів після сепарації і доочистки;

$П_k$  – пошкодження коренеплодів.

Масу технологічного вороху, який поступає в зону роторного сепаратора визначають за формулою:

$$M_{me} = \frac{g \cdot S}{V_T}, \quad (2.1)$$

де  $g$  – секундне завантаження зони роторного сепаратора, кг/с;

$V_T$  – швидкість транспортера

$S$  – довжина завантажувального транспортера, м.

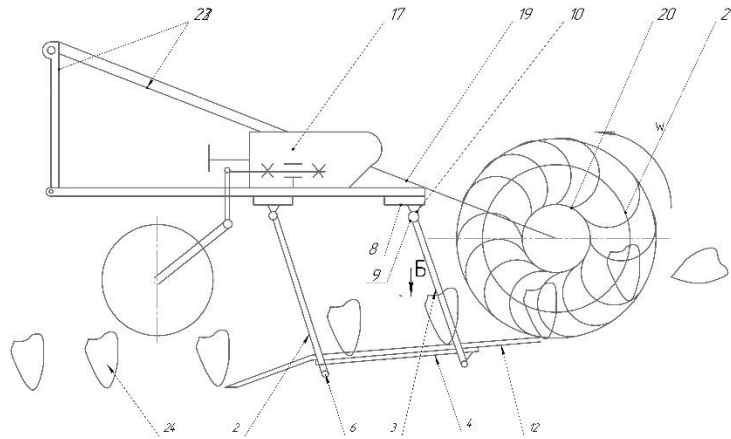


Рис. 2.1. Розроблена модель роторного сепаратора кореневикопувальної машини

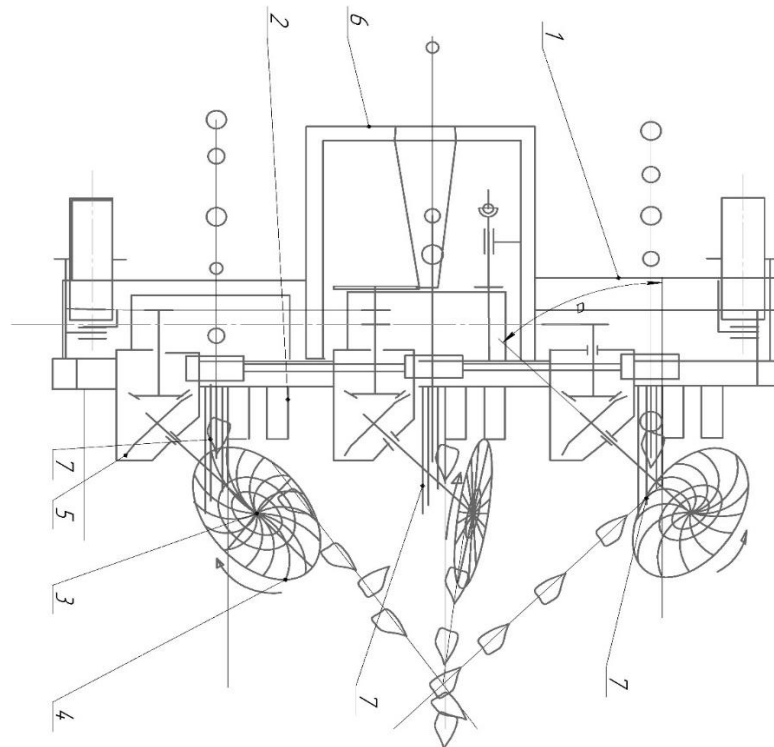


Рис. 2.2. Машина для екстракції і сепарації вороху коренеплідів з складанням їх у валок:

1 – рама; 2 – леміш; 3 – маточина сепаратора; 4 – пальці; 5 – редуктор; 6 – навісний пристрій; 7 – сепаратори вороху.

При розрахунку навантаження на сепаратор, яке було встановлене з аналізу результатів експериментальних досліджень, визначається із залежності [9, с. 56]

$$q = q_o \prod_{i=1}^n (1 - \eta_i), \quad (2.2)$$

де  $q_o$  - загальне завантаження коренезбиральної машини технологічною масою, кг/с;

$\eta_i$  - коефіцієнт сепарації роторного сепаратора.

Загальне завантаження коренезбиральної машини можна визначити з залежності

$$q_o = iSV_M \quad (2.3)$$

де  $i$  - кількість рядків, з яких викошують буряки;

$S$  – поперечний переріз шару ґрунту, що підкопується одним леміхом, мм<sup>2</sup>;

$V_M$  – робоча швидкість коренезбиральної машини, м/с;

$\gamma_p$  – об'ємна маса ґрунту, що поступає на роторний сепаратор, кг/м<sup>3</sup>.

Загальна маса технологічного вороху, який необхідно змоделювати на завантажувальному транспортері, який поступає в зону очистки ротора, визначають з формули:

$$m_o = m_{кор} + m_{зр} + m_{тр}, \quad (2.4)$$

де  $m_{кор}$  – маса коренеплодів, кг;

$m_{зр}$  – маса ґрунту, кг;

$m_{тр}$  – маса технологічних решток, кг.

Чистота коренеплодів визначається за формулою

$$H = \frac{km_{кор}}{m_{кор} + m_{зр} + m_{тр}} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

де  $k$  - коефіцієнт, що характеризує очисну систему;

Пошкодження коренеплодів після сепарації визначають також експериментальним шляхом. Як за правило ваговим методом.

## **2.2 Обґрунтування параметрів роторного сепаратора коренеплодів**

При роботі запропонованого сепаратора коренезбиральної машини [10, с. 1-3.] (рис. 2.3) відбувається ударна взаємодія пальця обертового роторного очисника із коренеплодом, внаслідок чого відбувається переміщення плоду до центру траєкторії руху машини. Під час контактної ударної взаємодії можливе травмування коренеплоду та недостатня віддаль польоту буряків. Для аналізу даного процесу сепарації вороху розглянемо кінематичну модель та визначимо раціональні кінематичні параметри – колової швидкості та кута установки роторного сепаратора.

При розгляді математичної моделі процесу викопування коренеплодів можна зробити наступні припущення [11, с. 78-75]:

- агрегат рухається прямолінійно з постійною швидкістю  $v_a$ , сепаратори з пальцями установлені жорстко із заданими кутами нахилу  $\alpha$  і  $\beta$  та обертаються з постійною кутовою швидкістю  $\omega$ ;
- коренеплоди під час екстракції допустимо відхиляються від траєкторії руху машини, тобто проекція центру мас коренеплоду лежить на лінії, яку окреслює проекція на горизонтальну площину найнижча точка пальця сепаратора;
- пальці роторного диска є жорсткими (для підвищення жорсткості запропоновано спеціальна боровмісна Сталь 65В);
- контакт коренеплоду з пальцями ротора є жорстким, тобто швидкість руху плоду рівна коловій швидкості сепаратора.



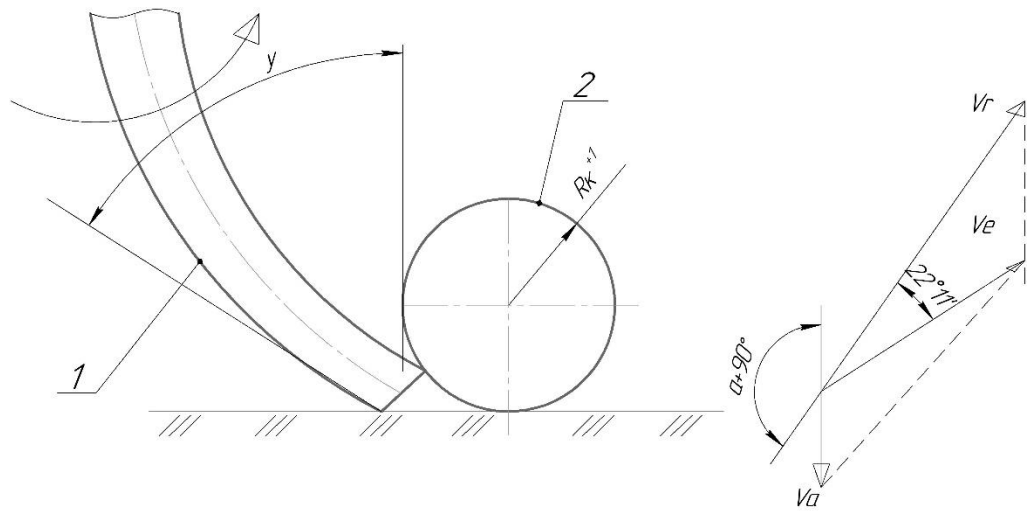


Рис. 2.3. Розрахункова схема взаємодії пальця роторного сепаратора з коренеплодом:

а) розрахункова схема; б) план швидкостей коренеплода.

1 – палець; 2 – поперечний переріз головки коренеплоду;

На рис. 2.3 представлена розрахункова схема взаємодії пальця роторного сепаратора з коренеплодом і план його швидкостей.

Швидкість руху пальця залежить від швидкості обертання ротора та його радіуса  $R_d$  [12, с. 117-119]:

$$v_r = \omega R_d, \quad (2.6)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість ротора 1/с;

$R_d$  - радіус ротора, мм.

Вектор швидкості  $\vec{v}_e$  лежить у напрямку вектора удару, який складається із векторної суми переносної швидкості руху агрегата  $\vec{v}_a$  та відносної швидкості обертання диска  $\vec{v}_r$ .

$$\vec{v}_e = \vec{v}_a + \vec{v}_r, \quad (2.7)$$

де  $\vec{v}_a, \vec{v}_r$  - швидкість руху МТА та колова швидкість обертання ротора.

Для визначення величини та напрямку швидкості удару застосуємо теорему косинусів, звідки визначимо [12, с. 178-184]:

$$v_u = \sqrt{v_a^2 + v_d^2 - 2v_a v_d \cos(\vec{v}_a, \vec{v}_d)}. \quad (2.8)$$

Напрямок результуючої швидкості (кут  $\psi$  до напрямку руху агрегату) буде дорівнювати

$$\cos \psi = \frac{v_a^2 + v_u^2 - v_d^2}{2v_a v_u}. \quad (2.9)$$

В результаті обертання роторного сепаратора у момент контакту, центр мас коренеплоду, як за правило, не буде розташований у площині обертання ротора, а буде перед ним. Тому удар буде відхиленим, а результуюча швидкість руху буде направлена по лінії, яка з'єднує центр мас коренеплоду та точку удару пальця. Ця лінія буде відхилена від площини обертання диску у напрямку руху агрегату на кут  $\varphi$ . Тоді, швидкість при боковому контакті буде розраховуватись з а залежністю[13, с. 85-86]:

$$v_\varphi = v_u \cos \varphi. \quad (2.10)$$

Якщо контакт пальця ротора з плодом відбувається в ортогональній площині до площини обертання, то палець контактує з буряком по лінії, нахилений під кутом  $\gamma$  до вертикалі, тобто вектор швидкості направлений вгору під кутом  $\gamma$  до горизонтальної площини, що створює вертикальне підкидання, і як наслідок політ коренеплоду.

З геометричних побудов визначимо кут  $\gamma$

$$\frac{R_d}{R_k} = \frac{1 - \sin \gamma}{1 - \cos \gamma}, \quad (2.11)$$

де  $R_k$  - радіус коренеплода, мм.

Звідки

$$\gamma = -\arcsin\left(\frac{R_d - R_k}{\sqrt{R_d^2 + R_k^2}}\right) + \arctan \frac{R_d}{R_k}. \quad (2.12)$$

Вертикальна складова швидкості польоту після удару становитиме

$$v_{\varphi z} = v_{\varphi} \sin \gamma, \quad (2.13)$$

а горизонтальна складова

$$v_{\varphi y} = v_{\varphi} \cos \gamma. \quad (2.14)$$

Маючи складові швидкостей польоту, можна розрахувати дальність польоту, на яку переміститься коренеплід після контакту.

Враховуючи процес збирання і умову, щоб кожен плід потрапив до даної координати, відбулась сепарація вороху і потрапив на лінію її проекції. Маючи три сепаруючі диски з пальцями, розташованих на різних відстанях проекції лінії, необхідно визначити достатні умови для того, щоб сформувати валок позаду машини. Важливо також визначити мінімальну ширину, щоб буряк не потрапляв за її габарити.

Час вільного польоту визначимо через подвійний час його підйому за початковою вертикальною швидкістю  $v_{\varphi z}$  [14, с. 45-46]:

$$t = \frac{2v_{\varphi z}}{g}. \quad (2.15)$$

За цей час коренеплід подолає відстань

$$S = v_{\varphi y} t. \quad (2.16)$$

Проекція шляху  $S$  на вісь  $Y$  (перпендикулярну напрямку руху) повинна бути не меншою за відстань від викопуваного рядка до відбивача  $L$  [15, с. 540-541]:

$$S_y = S \sin(\psi - \varphi) > L. \quad (2.17)$$

З отриманих розрахунків кут  $\alpha = 110^\circ$ , радіус диска  $R_d = 560\text{мм}$ , радіус коренеплоду  $R_k = 40-50\text{мм}$ . Кількість пальців сепаратора необхідна така, щоб між ними не міг проникнути коренеплід.

Результати розрахунку для вказаних параметрів в залежності від зміни кутів  $\alpha$  і  $\varphi$ ,  $R_k$  радіуса коренеплоду та кутової швидкості наведено на графічних залежностях розділу 3.

У табл. 2.1 наведено приклад розрахунку вказаних величин при певних конструктивних параметрах коренезбиральної машини.

Таблиця 2.1

Результати розрахунку параметрів коренезбиральної машини

$R_k=30.0$	$R_k=40.0$	$R_k=40.0$	$R_k=50.0$
$R_d=560.0$	$R_d=560.0$	$R_d=560.0$	$R_d=560.0$
$\alpha=110.0$	$\alpha=105.0$	$\alpha=102.0$	$\alpha=120.0$
$F_i=20.0$	$F_i=20.0$	$F_i=20.0$	$F_i=20.0$
$\omega=1,0$	$\omega=1,0$	$\omega=1,5$	$\omega=1,0$
$V_a=2,3$	$V_a=2,5$	$V_a=2,6$	$V_a=2,9$
$L=1.5$	$L=1.5$	$L=1.5$	$L=1.5$
$V_d=6.0$	$V_d=6.0$	$V_d=9.0$	$V_d=6.0$
$V_e=3,59$	$V_e=3.29$	$V_e=6.33$	$V_e=5.38$
$P_{si}=126.4$	$P_{si}=105.9$	$P_{si}=132.5$	$P_{si}=129.8$
$\gamma=19.58$	$\gamma=17.55$	$\gamma=16.28$	$\gamma=19.36$
$V_f=5.12$	$V_f=5.97$	$V_f=7.39$	$V_f=8.52$
$V_{fz}=1.114$	$V_{fz}=1.58$	$V_{fz}=2,06$	$V_{fz}=2.56$
$V_{fy}=4.37$	$V_{fy}=4.59$	$V_{fy}=6.02$	$V_{fy}=4.34$
$T=0.32$	$T=0.35$	$T=0.45$	$T=0.26$
$S=0.9$	$S=1.36$	$S=2.69$	$S=1.58$
$S_y=0.856$	$S_y=1.312$	$S_y=2.56$	$S_y=0.895$
$L_c=2.9$	$L_c=2.866$	$L_c=2.98$	$L_c=2.532$

## Висновки до розділу 2

Як результат теоретичних розрахунків процесу сепарації встановлено, залежності варіювання відносної швидкості і швидкості руху по робочій поверхні сепаратора від параметрів їх установки кута  $\alpha$ , який знаходиться в межах  $110^\circ - 120^\circ$  по напрямку руху машини, що дозволяє визначити допустимі напруження

при контакті та силу удару, встановлено кутові параметри контакту пальцевого сепаратора, які лежать в діапазоні  $15...20^\circ$  і забезпечує виконання умови потрапляння коренеплодів в зону утворення валка.

### РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СЕПАРАТОРА ВОРОХУ КОРЕНЕВИКОПУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Провівши аналіз теоретичних і графічних залежностей наведених на рисунках (3.1., 3.2., 3.3.), можна стверджувати, що основним конструктивним параметром, що впливає на якість роботи машини є кут встановлення сепараторів  $\alpha$ , зміна якого суттєво впливає на всі інші основні параметри робочих органів. При збільшенні значення кута зменшуються габаритні розміри валкоутворювача та значення кута швиряння, тому збільшується швидкість руху коренеплода, і відповідно, ймовірна відстань падіння плодів. Значення кута атаки ротора  $\alpha$  повинна становити не менше  $110...120^{\circ}$  градусів. Якщо параметри кута будуть зростати це можливо спричинить перекидання буряків перед машиною за напрямком руху МТА.

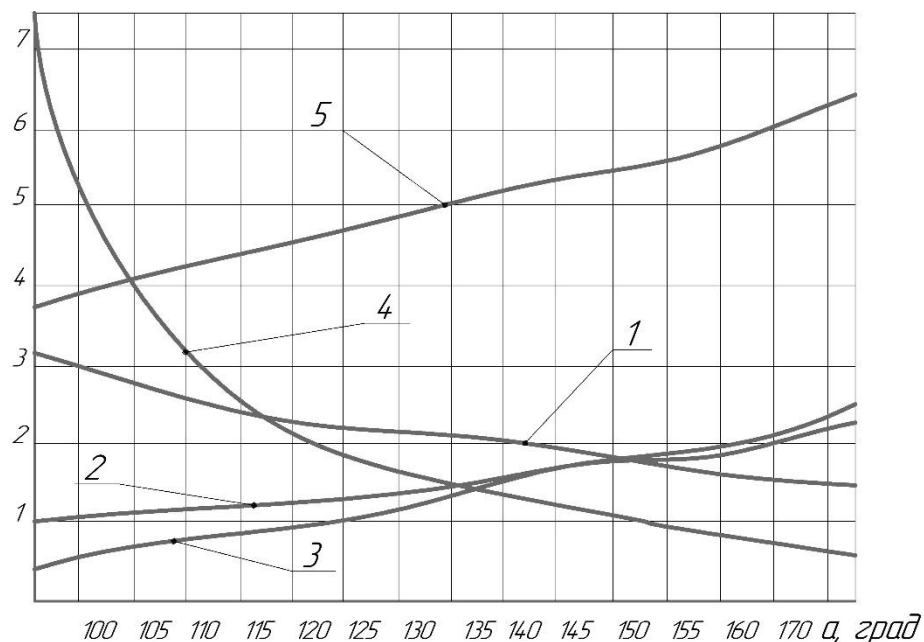


Рис. 3.1. Графічна залежність параметрів від зміни кута атаки ротора  $\alpha$

1 –  $\psi$ , рад; 2 –  $S$ , м; 3 –  $S_y$ , м; 4 –  $L_c$ , м; 5 –  $V_u$ , м/с.

З рис. 3.1. видно, що зміна кута атаки установки ротора сепаратора  $\alpha$  являється основним фактором, який в найбільшій мірі впливає на параметри сепарації. При зростанні значення кута, зменшується довжина відбивача та початковий кут польоту, внаслідок чого збільшується швидкість підкидання і довжина польоту коренеплоду. Величина кута  $\alpha$  повинна становити не менше 110 градусів, краще до 135 градусів. Більше значення цього кута може призвести до перекидання коренеплоду вперед за напрямком руху агрегату, що є недопустимим.

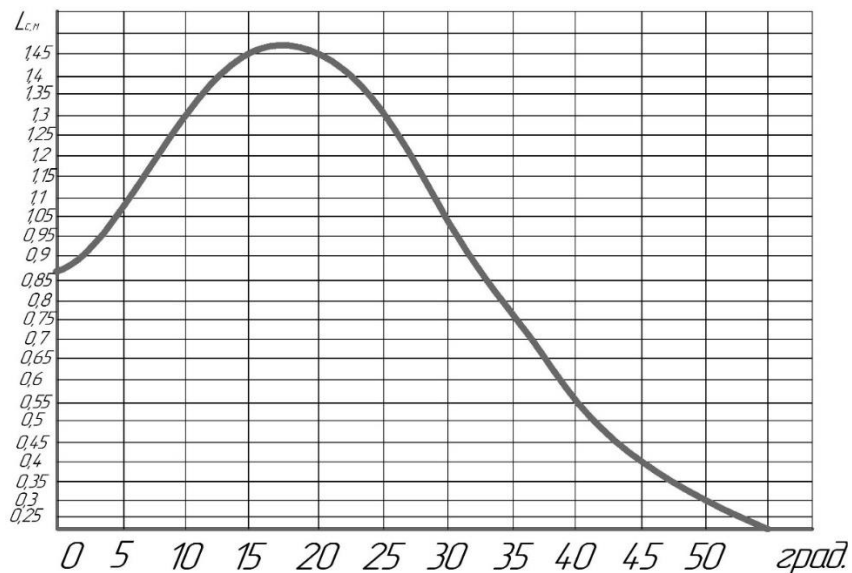


Рис. 3.2. Графічна залежність дальності польоту від кута контакту  $\varphi$  з коренеплодом

Крива на рис. 3.2 показує, що зміщений контакт по коренеплоду в межах до 20...30<sup>0</sup> градусів забезпечує необхідну відстань переміщення плоду. Для досягнення значення цього кута у визначеному діапазоні потрібно, за час повороту диска роторного сепаратора на величину, яка дорівнює кроку розташування пальців, агрегат перемістився по рядкам на відстань більшу ніж радіус коренеплоду. При менших значеннях швидкості відбудеться

пошкодження буряків, а при більших кутах зміщеного контакту відбудеться бокове переміщення, щозбільшить ширину валка.

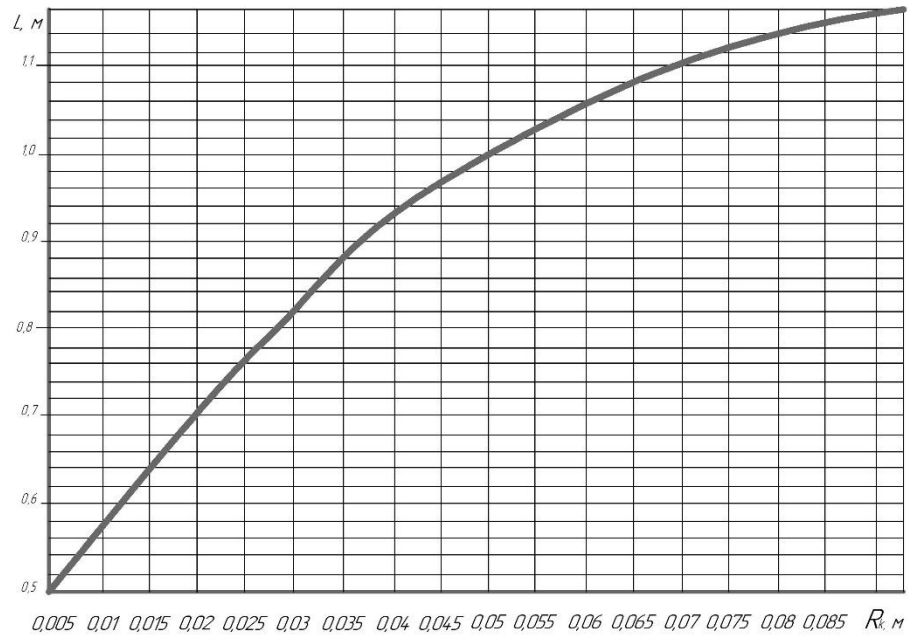


Рис. 3.3. Залежність дальності польоту коренеплоду від його радіуса

При збільшенні кута викидання, зростає і відстань переміщення коренеплоду, що дозволяє формувати рівномірний валок.

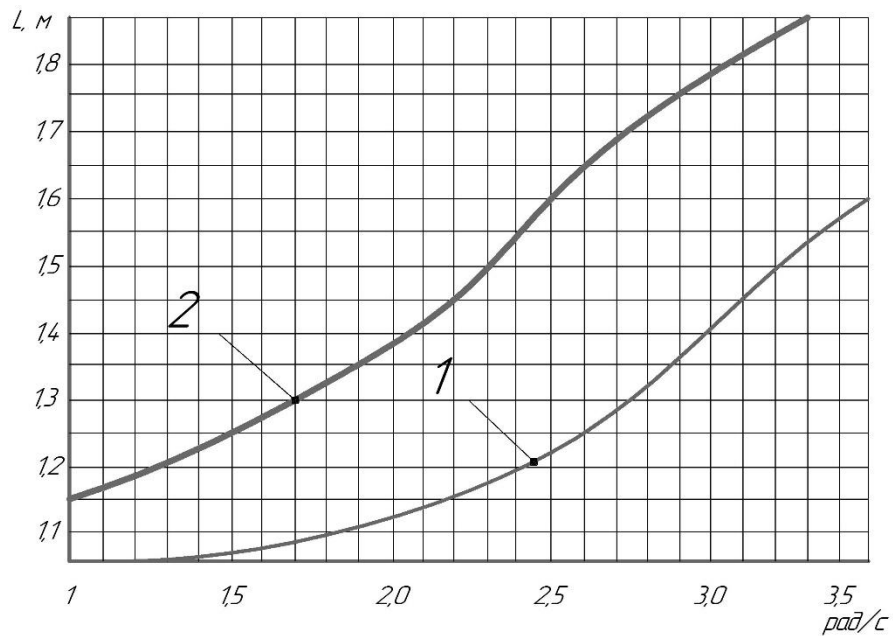


Рис. 3.4. Залежність дальності польоту (1) і швидкості (2) коренеплоду від кутової швидкості ротора сепаратора  $\omega$



При зростанні кутової швидкості роторів сепараторів дальність польоту коренеплоду збільшується у математичній прогресії, що свідчить про ефективність регулювання такого параметру. Головною вимогою регулювання і підбір швидкості обертання є забезпечення цілісності коренеплодів внаслідок ударів по пальцях сепаратора, що за необхідності можуть покриватись еластичними матеріалами, гумою або пластиком.

### **Висновки до розділу 3**

На основі проведених теоретичних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Дослідження кінематичних параметрів пальцевих роторних сепараторів довели, що вони забезпечують якісне виконання технологічного процесу очищення коренеплодів при встановленні визначених режимів роботи.

2. В результаті теоретичних досліджень роботи сепарації коренеплодів отримані графічні залежності зміни відносної швидкості і швидкості нормального зближення коренеплодів з робочими поверхнями сепараторів від кута атаки їх установки, в межах  $110...135^\circ$ , що дало можливість теоретично дальність польоту та зміщений контакт з тілом коренеплоду, при цьому максимальні значення швидкостей досягаються при параметрах близьких до  $135^\circ$  і не перевищують 2 м/с, крім цього встановлено кут зміщеного контакту з пальцем ротора, який знаходиться в діапазоні  $20...30^\circ$  і дозволяє виконати умови переміщення коренеплодів у валок.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Провівши аналіз показників роботи коренезбиральних машин можна зробити наступний висновок, що існуючі конструкції екстракторів та інших робочих органів та їх компоновки в машинах не в повній мірі дозволяють досягти відповідної якості збирання коренеплодів, а існуючі конструкції сепараторів не забезпечують належного відділення з вороху домішок ґрунту та рослинних рештків, або є енергоємним та конструкційно складним.
2. В результаті теоретичних досліджень роботи сепарації коренеплодів отримані графічні залежності зміни відносної швидкості і швидкості нормального зближення коренеплодів з робочими поверхнями сепараторів від кута атаки їх установки, в межах  $110...135^\circ$ , що дало можливість теоретично дальність польоту та зміщений контакт з тілом коренеплоду, при цьому максимальні значення швидкостей досягаються при параметрах близьких до  $135^\circ$  і не перевищують 2 м/с, крім цього встановлено кут зміщеного контакту з пальцем ротора, який знаходиться в діапазоні  $20...30^\circ$  і дозволяє виконати умови переміщення коренеплодів у валок.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Босой Е.С, Верняев О.В., Смирнов И.И. и др. Теория, конструкция и расчет сельхозмашин.- М.: Машиностроение, 1978.- 567с.
2. Свеклоуборочные машины (Конструирование и расчет) / Л.В.Погорелый, Н.В.Татьянко, В.В.Брей и др.; Под общ ред. Л.В.Погорелого.- К.: Техніка, 1983.- 168с.
3. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин.- К.: НМК ВО, 1992.- 320с.
4. Проспект фірми «Джіллес». «GILLES. Viel mehr als ein einfaches Rubenrodesystem».
5. Проспект фірми «Кляйн». «KLEINE. Kleine – Umbau KC6B+Kleine Kopfroder KR6II».
6. Проспект фірми «Моро». «MOREAU. Sugar beet harvester. Share Lifter: AS 350 6 ROW LIFTER».
7. А.с. 755238 СССР, МКИ А 01D 33/08. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от камней и комков почвы / Ю.И.Кириенко, Н.Н.Колчин, В.М.Фурлетов, А.С.Алексеев, В.П.Ключников (СССР) - №2732091/30-15; Заявлено 01.03.79; Опубл. 15.08.80, Бюл. №30.- 2с.
8. Гевко Р.Б. Викопувальньо-очисні пристрої бурякозбиральних машин. Конструювання і розрахунок.- Тернопіль: Поліграфіст, 1997.- 120с.
9. Гандзюк М.О. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів доочисника коренеплодів: Дис. канд. техн. наук: 05.05.11.- Луцьк: ЛДТУ, 2001.- 146с.
10. Патент №30263, Україна. Сепаруючий диск коренезбиральної машини. Солтисюк В.І. МПК(2006) А01D17/00. u2007 07856. Заявл. 12.07.2007; Опубл.25.02.2008. Бюл.№4, – 3с.
11. Гладь Ю., Солтисюк В. Теоретичне обґрунтування процесу сепарації коренеплодів роторними очисниками. Вісник Тернопільського

державного технічного університету. – Тернопіль: ТДТУ – 2007. Том 12. №4. – С.78-85.

12. Гевко Р.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин: Дис. д-ра техн. наук: 05.05.11.- К., 2000.- 362с.

13. Данильченко М.Г. Розробка і дослідження шнекових та роторних очисників коренеплодів бурякозбиральних комплексів: Дис. канд. техн. наук: 05.20.04.- ТП.- Тернопіль, 1992.- 153с.

14. Маркеев А.П. Динамика тела, соприкасающегося с твердой поверхностью.- М.: Наука, 1992.- 336с.

15. Gerlach K. Technik der Futterrubenernte: Die Arbeitskette geschlossen halten // Lohnunternehmen Land-und Forstwirtschaft. 1985.- Vol. 40.- № 10.-P. 540-541.

16. Van Kempen Ph. La recolte de terre // La Pomme de Terre Francaise.- 1986.- P. 193-197.

17. W. Bbrinkmann. Fakten – und Gedankenumb die Zuckerrubenernte // Zuckeruby, № 41.- 1992.- P. 310-314.