

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

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ПАПІРОВНИК ІГОР СЕРГІЙОВИЧ

УДК 631.3.03:631.3.01

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВІБРОЛЕМІШНОГО
КОПАЧА 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

_____ **І. С. Папіровнік**

Керівник роботи

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Папіровнік Ігор Сергійович. Підвищення ефективності роботи вібролемішного копача коренезбиральних машин. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Основною проблемою є те, що традиційно використовувані лемішні підкопувачі притискають ґрунт до коренеплоду, після чого вологий глинистий ґрунт міцно прилипає до буряка і важко видаляється. Метою дослідження було аналіз і вдосконалення процесу викопування цукрових буряків, щоб зменшити налипання ґрунту під час збирання на вологих глинистих ґрунтах.

У дослідженні було введено новий показник — відносна адгезія ґрунту (ВАГ; $100\% = \text{весь ґрунт сильно прилипає}$), який дозволяє кількісно оцінити налипання ґрунту. Було проведено порівняння маси налиплого ґрунту та показника ВАГ після різних експериментальних методів викопування буряків і підкопування за допомогою роторно-башмакового підкопувача, з традиційними лемішними підкопувачами на вологих глинистих ґрунтах. Викопування показало налипання ґрунту на рівні 50% (відносно чистої маси буряків) і ВАГ - 32% .

Для теоретичного обґрунтування спостережуваних ефектів було змодельовано систему "ґрунт-буряк-підкопувач" і змодельовано початкову стадію викопування за допомогою геотехнічної програми PLAXIS. На основі результатів цього дослідження оцінено, що системи збору буряків із традиційними засобами очищення ґрунту на вологих глинистих ґрунтах можуть досягати $7...15\%$ налипання ґрунту при використанні вдосконалених підкопувачів і $3...6\%$ при застосуванні підкопувачів, які спричиняють обертання буряка на початковій стадії викопування.

Ключові слова: *екстракція коренеплодів,, тарність ґрунту, деформація, динаміка ґрунту, цукрові буряки, вібролемішний орган.*

ANNOTATION

Papirovník Igor Serhiyovych. Increasing the efficiency of the vibrating ploughshare digger of root harvesting machines. – Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for the degree of Master in specialty 208 Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2024.

The main problem is that traditionally used ploughshare diggers press the soil to the root crop, after which the wet clay soil sticks firmly to the beet and is difficult to remove. The aim of the study was to analyze and improve the process of digging sugar beets in order to reduce soil sticking during harvesting on wet clay soils.

The study introduced a new indicator - relative soil adhesion (RAA; 100% = all soil sticks strongly), which allows quantitatively assessing soil sticking. The mass of stuck soil and the VAG index were compared after different experimental methods of digging beets and digging using a rotary-shoe digger, with traditional share diggers on wet clay soils.

Digging showed soil sticking at the level of 50% (relative to the net mass of beets) and VAG - 32%. To theoretically substantiate the observed effects, the "soil-beet-digger" system was simulated and the initial stage of digging was simulated using the geotechnical program PLAXIS.

Based on the results of this study, it was estimated that beet harvesting systems with traditional soil cleaning means on wet clay soils can achieve 7-15% soil sticking when using improved traditional diggers and 3-6% when using diggers that cause beet rotation at the initial stage of digging.

Keywords: root crop extraction, soil compaction, deformation, soil dynamics, sugar beets, vibro-plough body.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1.АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ КОРЕНЕПЛОДІВ	
1.1 Огляд конструкцій викопуючих робочих органів коренезбиральних комбайнів.....	7
1.2 Обґрунтування робочих органів для викопування цукрових буряків	13
Висновки до розділу 1	15
2.РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОЛЕМІШНОГО КОПАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ	
2.1 Обґрунтування режиму роботи.....	16
2.2 Розрахунок опору руху вібраційних копачів.....	17
2.3. Розрахунок потужності на привід копачів.....	18
2.4 Розрахунок продуктивності машини.....	20
2.5Розрахунки на міцність елементів конструкції.....	21
2.6 Теоретичне обґрунтування роботи дискових подавачів коренеподів	24
2.7. Моделювання процесу викопування коренеплоду копачем.....	26
Висновки до розділу 2.....	28
3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	
3.1. Визначення стану поверхні цукрових буряків системи контролю очищення комбайна за допомогою візуалізаційного пристрою.....	29
3.2. Матеріали та методи.....	30
3.3. Результати досліджень.....	34
Висновки до розділу 3.....	36
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

ВСТУП

Актуальність теми. Цукрові буряки є важливою технічною культурою, що має стратегічне значення для агропромислового комплексу України. Висока якість збирання врожаю значною мірою залежить від технічного стану і продуктивності коренезбиральних машин. Одним із ключових вузлів таких машин є копач, ефективність роботи якого визначає рівень втрат коренеплодів, ступінь налипання ґрунту та загальну якість збирання.

Вібролемішні копачі зарекомендували себе як ефективний засіб для викопування коренеплодів, особливо у складних умовах, таких як вологі та важкі ґрунти. Проте їх робота вимагає подальшого вдосконалення, спрямованого на зниження енерговитрат, поліпшення якості викопування та зменшення ступеня пошкодження коренеплодів.

Метою кваліфікаційної роботи є: аналіз і вдосконалення роботи вібролемішного копача коренезбиральних машин, шляхом підвищення його ефективності виконання процесу екстракції.

Завдання по роботі:

1. Провести аналіз технологічного процесу екстракції коренеплодів, що впливають на якість збирання.
2. Провести розрахунок технологічних параметрів копача та визначити режими його роботи.
3. За результатами практичних досліджень надати рекомендації щодо підвищення ефективності роботи вібролемішного копача коренезбиральних машин.

Об'єкт дослідження – технологічний процес екстракції коренеплодів.

Предмет дослідження – залежність способу викопування коренеплодів на тврість ґрунту на їхній поверхні.

Методи виконання роботи.

Робота базується на теоретичних дослідженнях, експериментальних випробуваннях та аналізі сучасних технічних рішень у сфері коренезбиральної

техніки. Отримані результати дозволять розробити рекомендації щодо оптимізації конструкції копача і підвищення ефективності роботи коренезбиральних машин, що сприятиме підвищенню продуктивності та економічної доцільності збирання цукрових буряків.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Папіровнік І. С Аналітичне моделювання процесу роботи плунжерів блока циліндрів гідронасосу. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 211-216.
2. *М. Заєць*, Моделювання процесу роботи аксіально-плунжерного гідронасоса приводу коренезбирального комбайну/ М. Заєць, І. Папіровнік // Матеріали XXV міжнародного науково-практичного форуму. Львів: ЛНУП., 2024. С. 520-525.
3. *Папіровнік І. С.* Дослідження та аналіз факторів оптимізації роботи коренезбирального комбайна Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 73-78.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 40 сторінок комп'ютерного тексту, 20 рисунків.

Активні дискові копачів, обертаючись через привід від ВВП енергозасобу витягують корені буряків з ґрунту і піднімають їх на деяку висоту до зустрічі з металевими обертовими бичами, які направляють потік коренів на кулачковий очисник.

Копач складається з двох литих конічних дисків 3, встановлених під кутом один до іншого. Диски кріпляться шістьма болтами до маточини, що посаджена на роликових підшипниках на зігнутій під певним кутом осі 5, яка, в свою чергу, приварена до стійки 4, що кріпиться хомутами до рами 1. Між маточиною і литим диском 3 розташовані прокладки, призначені для регулювання проміжку між дисками.

Активні вилки, (рис. 1.2) знайшли широке застосування на комбайнах РКС-6, МКК-6.

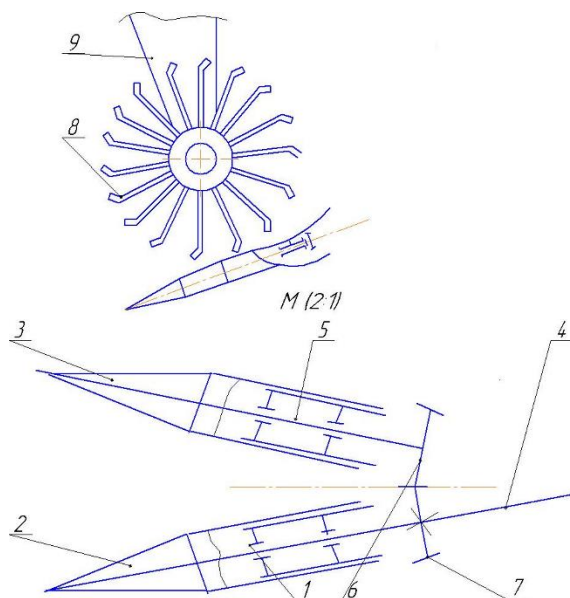


Рис. 1.2 Конусний ротаційний копач (патент А 01 D 25/04 №694121).

1 – корпус; 2,3 - накінецьники; 4 – горизонтальний вал; 5 – перехресний вал; 6,7 – конічні шестерні; 8 – коренезабірник; 9 – стійка.

Вони складаються з двох конусів 2 і 3, що обертаються на зустріч один одному. Наконечники, що обертаються розпушуючи ґрунти біля коренеплоду,

порушують зв'язки: відбувається стискування ґрунту поверхнею вилки на глибині підкопування, утворюються тріщини і відбувається сколювання шматка ґрунту під деяким кутом з наступним виникненням сил підпору для створення витягаючого зусилля в руслі копача. Копачі витягають коренеплоди і направляють їх до забірника 8, який складений з двох похило розташованих дисків з прутковими лапами.

На рис. 1.3 представлений робочий орган, призначений для підкопування, підйому і витягання коренів цукрових буряків з ґрунту. Вилка складається з двох спіралеподібних конусів, що обертаються в різні боки, переходять в циліндричні труби, які прикріплені на різьбових кінцях валів-шестерень.

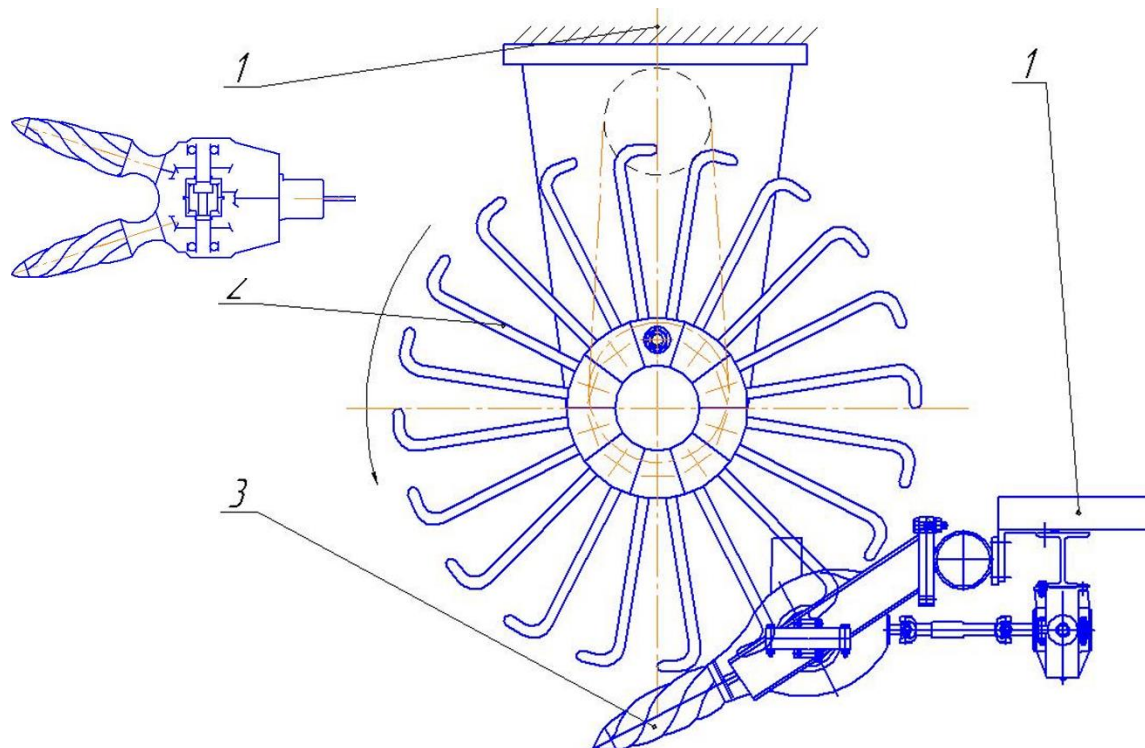


Рис. 1.3 Активна роторна вилка (патент А 01 D 25/04 №1134130)

1 – рама; 2 – коренезабірник; 3 – активна вилка;

Вали-шестерні через підшипники змонтовані в корпусах, що переходять в зігнутий кронштейн з фланцем для кріплення.

Викопуючий пристрій (рис. 1.4) складається з рами 1, на якій за допомогою шарніра 2 рами встановлено коромисло 3.

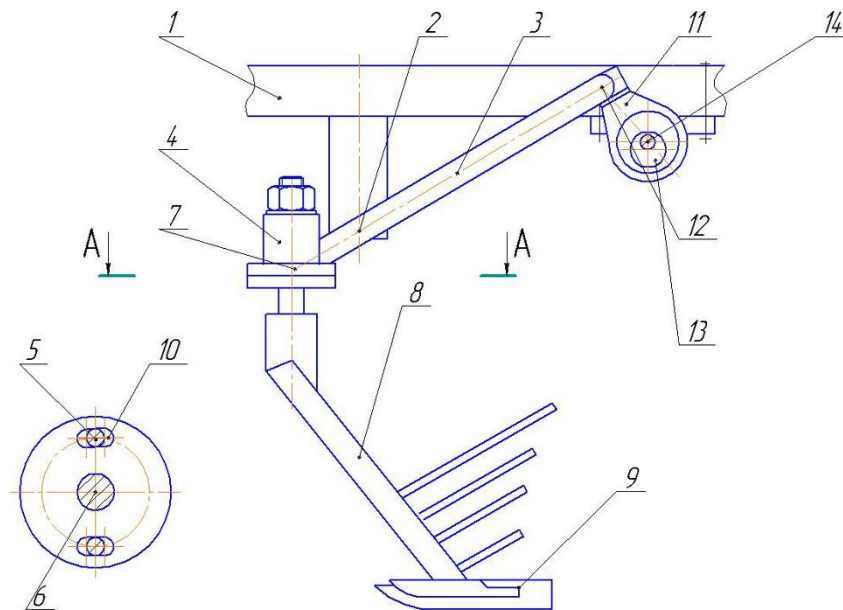


Рис. 1.4 Викопуючий пристрій (патент А 01 Д 25/04 №2090998).

1 - рама; 2,12- шарніри; 3 – коромисло; 4,7- флянець; 5 – палець; 6 –вісь; 8 –стійка; 9 – леміш; 10- паз; 11- важіль; 13- ексцентрик; 14- вал.

У передній частині коромисло 3 закінчується фланцем 4, що складається з втулки і диска з двома пальцями 5. У фланець 4 вставлена вісь з фланцем 7, що сполучає частини стійок 8 копачів 9. У фланці 7 є дугоподібні пази 10, в які входять пальці 5 фланця 4, що обмежують поворот копачів 9 в межах 12° . У передній частині коромисло 3 підвішено до рами 1 за допомогою шарніра 2, а в задній частині - зв'язано з важелем 11 шарніром 12. Важіль 11 приводиться в коливальний рух ексцентриком 13, встановленим на валу 14. Вал 14 встановлено на двох підшипниках, корпуси яких закріплені болтами до рами 1 пристрою.

Вібраційний викопуючий пристрій працює наступним чином. Рама 1 пристрою опускається в робоче положення, а копачі 9 заглиблюються в ґрунт на необхідну глибину ходу. Ексцентровий вал 14 за допомогою обертання ексцентриків приводить в коливальний рух важіль 11, яким воно передається коромислу 3, а ним у свою чергу, копачам 9, що активно взаємодіє з ґрунтом, повідомляючи через неї корнеплодам імпульсивні дії сприяючі їх витягання з

грунту. Якщо коренеплід розташований з відхиленням від осьової лінії рядка, то він стикається з копачем 9, і копач відхиляється на мінімальний, але достатній кут повороту без ушкоджень самого коренеплоду.

Кореневикопуючий пристрій патент (рис. 1.5), складається з вилкоподібного копача 1, розташованих над ним коренезабірних дисків 2 з радіально розташованими на маточині 3 захватами 4, виконаних у вигляді пакету гнучких смуг 5 із ступінчасто зростаючою довжиною.

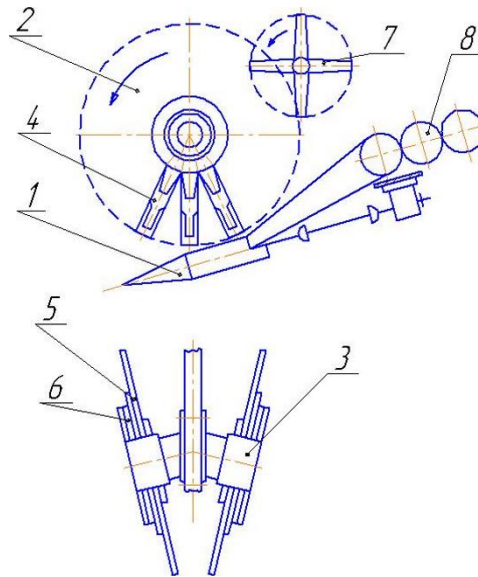


Рис. 1.5 Викопуючий пристрій (патент А 01 D 25/04 №793455)

1 – вилкоподібний копач; 2 – коренезабірний диск; 3 – маточина; 4 – захвачуючий диск; 5 – гнучка полоса; 6 – пружне кільце; 7 – бітер; 8 – транспортер.

Із зовнішньої сторони гнучких смуг 5 на маточині 3 встановлено пружне кільце 6. Конусоподібні вальці утворюють вилку копача. Обидва вальці мають примусове обертання один назустріч одному. Коренезабірні диски 2 змонтовані під кутом один до одного, між ними у верхній задній частині встановлено бітер 7, що передає корені на транспортер 8. Заміна прутків круглого перерізу в диску на смуги, розташовані ребрами по ходу обертання, різко збільшує жорсткість диска в площині обертання. Для забезпечення міцності диска в напрямі,

перпендикулярному до площини диска, кожна довга полоса опирається на коротшу і на пружне кільце біля основи, забезпечуючи плавний відгин (деформацію) кожної смуги при попаданні великих коренів або сторонніх предметів в простір між дисками, усунення залипання і зниження енергоємності процесу шляхом здійснення коливальних. рухів.

Пристрій працює наступним чином. При поступальному русі вилка копача витягує корені з ґрунту. Диски 2 захвачують корені за голівки, виймають їх з вилок копача і піднімають до бітера 7, який відбиває корені з дисків 2 на транспортер 8.

Викопуючий пристрій (рис. 2.6) складається з підкопуючого робочого органу 1, розміщеного над ним бітера 2 з еластичними лопатями 3 і встановленого, за ним, сепаратора 4, виконаного у вигляді валу 5 з концентрично закріпленими, кільцями 7 і що має, по відношенню до бітера 2, зустрічне обертання.

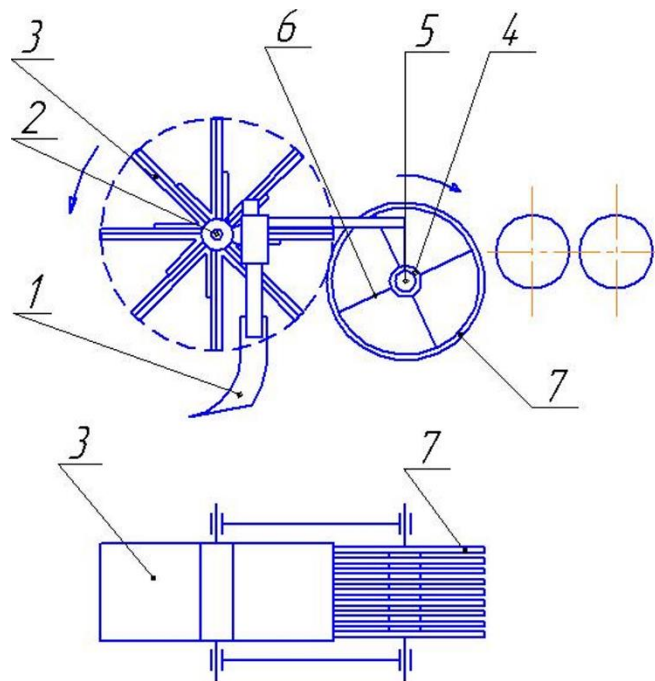


Рис. 1.6 Викопуючий пристрій (патент А 01 D 25/04 №701566)

1 – копач; 2 – бітер; 3 – еластичні лопаті; 5 – сепаратор; 6 – стійка; 7 – кільця.

Працює пристрій наступним чином. Підкопувальним робочим органом 1 шар ґрунту з коренеплодами потрапляє в зону дії бітера 2, який лопатями 3 виконує очищення голівок коренеплодів від залишків гички і сприяє переміщенню пласта. При зустрічі останнього з сепаратором 4 він піддається інтенсивному кришінню кільцями 7. У результаті зустрічного обертання бітера 2 і сепаратора 4 відбувається захоплення коренеплодів і витягування їх з ґрунту.

При цьому лопаті 3, притискаючи коренеплоди до кілець 7, забезпечують їх підйом і передачу на подальші робочі органи збиральної машини. При транспортуванні коренеплодів сепаратором 4 відбувається відділення налиплого на них ґрунту, який сепарується крізь просвіти між кільцями 7.

Використання викопуючого пристрою у збиральних машинах дозволить покращити якість очищення коренеплодів від ґрунтових і рослинних домішок та понизити вміст у воросі ґрунтових грудок.

1.2 Обґрунтування робочих органів для викопування цукрових буряків

На полях, у більшості своїй, переважають суглинкові ґрунти і важкі суглинки. Робота по збиранню коренів цукрових буряків проводиться у важких ґрунтових умовах. Часто доводиться здійснювати викопування коренів і на вологому, і на мокрому ґрунті. Із-за поганої підготовленості поля та погодних умов збільшується трудомісткість копання коренів. В той же час необхідно враховувати і те, що при витягуванні коренів їх пошкоджуваність має бути мінімальною.

Машини з вилчастими робочими органами призначені для роботи на легких ґрунтах і різко знижують продуктивність і якість роботи на важких ґрунтах, а також на вологих ґрунтах. Хоча необхідно враховувати, що

коренекопачі цього типу є менш енергоємними і міра пошкодження коренів у них порівняно менша, ніж у дискових і лемішних копачів. Звідси робимо висновки, що вилчасті копачі малопридатні для умов нашого підприємства.

Робочі органи з дисковими копачами ушкоджують коренеплоди більше, ніж копачі з активною вилкою.

Виходячи з ґрунтово-кліматичних умов, приймаємо як прототип коренекопач з лемішними викопуючими органами (рис. 1.7). Тільки лемішні копачі надійно зарекомендували себе на закордонних бурякозбиральних комбайнах Ropa та Valtra.

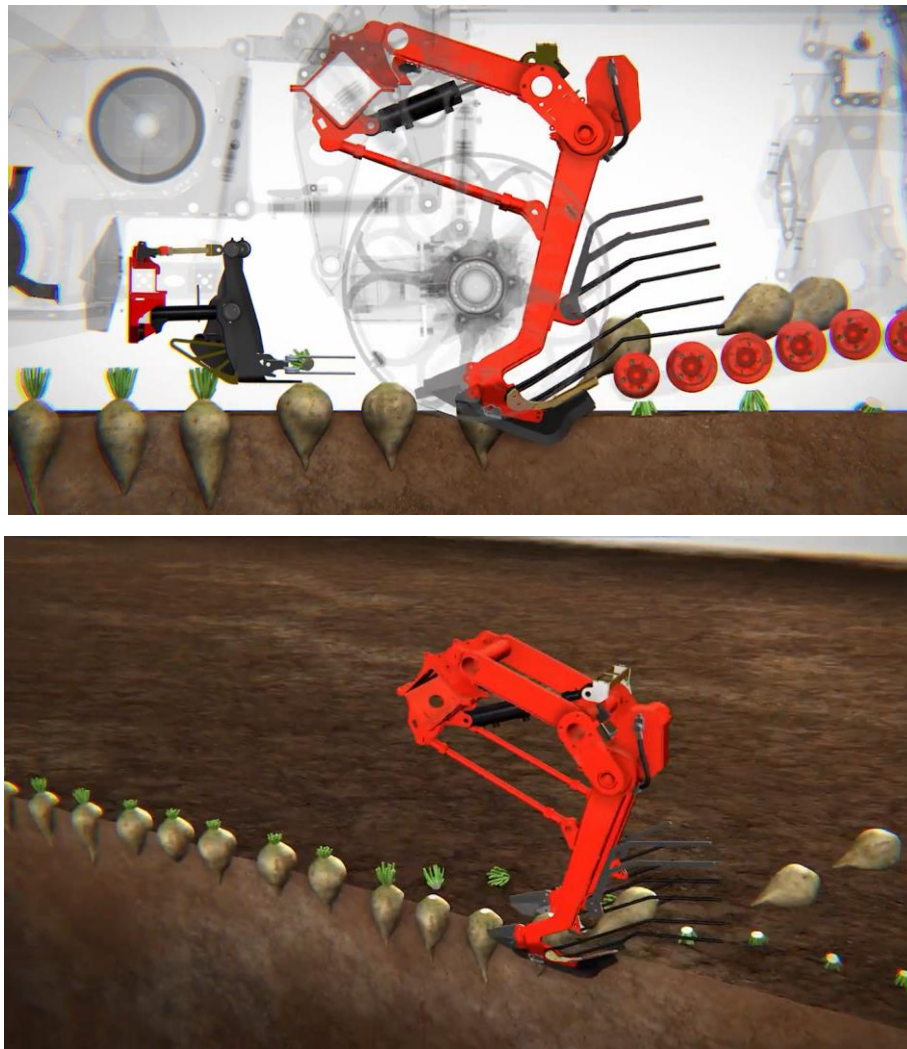


Рис. 1.7. Запропонований вібролемішний копач коренеплодів

Висновки до розділу 1

1. Найкращі результати при екстракції демонструють комбіновані копачі, які поєднують лінійні та обертові рухи. Зазначено, що ґрунт, який залишається на поверхні буряків після екстракції, менш міцно прилягає, ніж після традиційного способу збирання врожаю.
2. Коренеплоди із менш щільно прилиплим ґрунтом, ймовірно, будуть легше очищуватись, ніж ті, на якому ґрунт тримається міцно. Тому вдосконалення процесу викопування з акцентом на витягування коренеплодів є перспективним напрямком.
3. Ефект «киплячого шару» коренеплодів виникає через різке прискорення за короткий проміжок часу. Таким чином, високе початкове прискорення рлодів під час екстрагування може зменшити кількість ґрунту, що залишається після викопування на ньому. Це стало підставою для визначення вивчення впливу прискорення як другого напрямку дослідження в цій роботі.
4. Аналіз причин слабкого зчеплення ґрунту після екстракції буряків може стати основою для розробки вдосконалених пристроїв для викопування, які б стали альтернативою складним механізованим бурякокопачам. Екстрагування наразі є найпоширенішим методом викопування коренеплодів, який має практичне значення, оскільки відповідає сучасним технічним вимогам, включно з високою якістю виконання робіт. Враховуючи актуальність якості роботи машин, цей метод може бути застосований відповідно до сучасних стандартів продуктивності бурякозбиральних агрегатів.

2. РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОЛЕМІШНОГО КОПАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ

2.1 Обґрунтування режиму роботи

Для визначення режимів роботи викопуючого пристрою наведемо його схему (рис. 2.1).

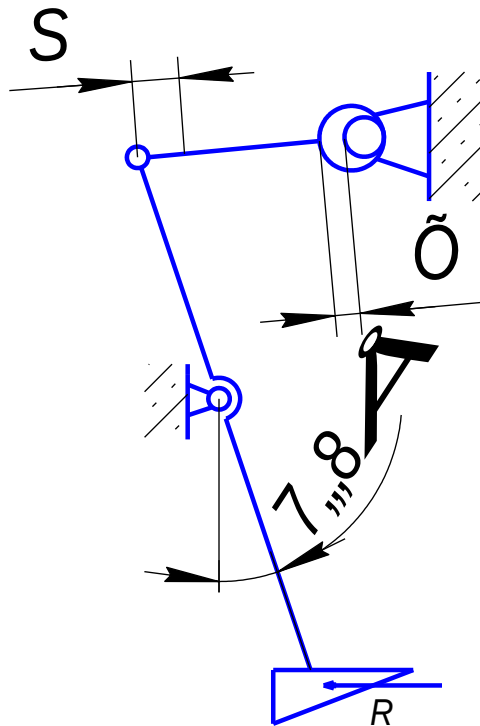


Рис. 2.1 Схема проектного викопуючого пристрою

Для даного копача до коренезбиральної машини РКС-6 «Збруч» приймаємо параметри з машин-прототипів. Зокрема:[2]

- частота коливань – $5 \dots 6 \text{с}^{-1}$;
- амплітуда коливань – $7 \dots 8^\circ$.

Визначимо хід шатуна. Згідно схеми роботи [1]:

$$S=x; \quad (2.1)$$

$$S=x=45\text{мм.}$$

Прийmemo робоче значення частоти колива 6 коливань/с, тоді частота обертання вала копачів буде рівна:

$$N=n \cdot k; \quad (2.2)$$

$$N=6 \cdot 60=360 \text{ об/хв.}$$

$$\omega_k = \pi n k / 30; \quad (2.3)$$

$$\omega_k = (3,14 \cdot 360) / 30 = 37,68 \text{ с}^{-1}.$$

2.2 Розрахунок опору руху вібраційних копачів

Для визначення опору необхідно визначити силу опору на один копач. Наведемо схему пласта ґрунту (рис. 2.2).

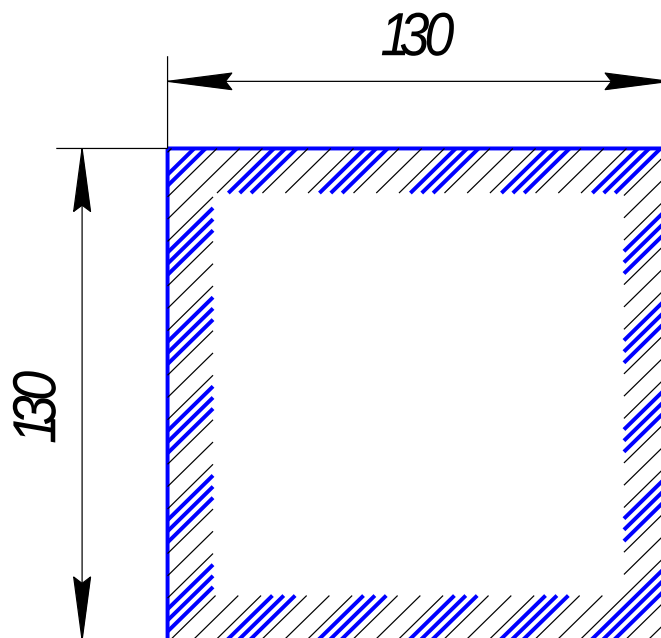


Рис. 2.2 Схема поперечного перерізу пласта ґрунту, що припадає на один леміш в робочому положенні.

Тоді площа ґрунту складатиме[1]:

$$F=a \cdot b; \quad (2.4)$$

$$F=0.13 \cdot 0.13=0,017 \text{ м}^2.$$

Визначимо опір викопування: [1]:

$$R=k \cdot F; \quad (2.5)$$

де, k – питомий опір ґрунту, кг/м^2 ;

$$R=3000 \cdot 0.017=51 \text{ кг}=499,8 \text{ Н}$$

Оскільки на машині встановлено 12 робочих органів, то загальний опір екстракції комбайна складатиме: [3]:

$$R_{\text{сум}}=12 \cdot k \cdot F; \quad (2.6)$$

$$R_{\text{сум}}=12 \cdot 499,8=5997,6 \text{ Н.}$$

2.3. Розрахунок потужності на привід копачів

На привід робочих органів необхідно такий крутний момент, який би давав змогу подолати силу опору викопуванню. Момент знайдемо за формулою [5]:

$$M_{\text{кр}} \geq R_{\text{сум}} \cdot L; \quad (2.7)$$

де, $L=525\text{мм}=0,525\text{м}$ (рис. 2.3).

$$M_{\text{кр}} \geq 5997,6 \cdot 0,525 = 3148,7 \text{ Нм}$$

$$M=3148,7 \cdot 0,045/0,35=404,83 \text{ Нм}$$

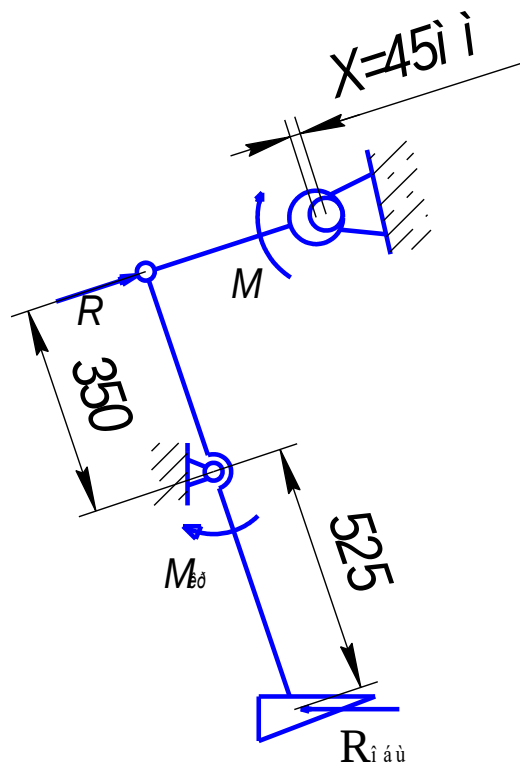


Рис. 2.3 Схема кінематики викопуючого механізму

Потужність на привід визначається з наступних виразів: [4]:

$$N=F \cdot V; \quad (2.8)$$

$$F=M/r; \quad (2.9)$$

$$N=M/r \cdot V; \quad (2.10)$$

$$V=\omega \cdot r; \quad (2.11)$$

$$N=M \cdot \omega; \quad (2.12)$$

$$N=404,83 \cdot 37,68=15254 \text{ Вт}=15,254 \text{ кВт}.$$

Дане значення забезпечує режими роботи двигуна Д-260 чи Д-265.

2.4 Розрахунок продуктивності машини

Продуктивність визначимо за довжини гону 1000 м. Робоча ширина захвату складає 2,7 м – 6 рядків, швидкість руху, згідно агровимог, приймаємо 1, 88 м/с, що відповідає швидкості 6,76 км/год [1,5].

Фактична продуктивність визначається за формулою: [3]:

$$W = c_{\omega} \cdot B \cdot V \cdot \xi_{\theta} \cdot \xi_v \cdot \tau; \quad (2.13)$$

де, c_{ω} - коефіцієнт переведення розмірності швидкості руху;

B – робоча ширина захвату комбайна;

V – швидкість руху машини;

ξ_{θ} - коефіцієнт використання ширини захвату;

ξ_v - коефіцієнт використання швидкості руху;

τ - коефіцієнт використання часу зміни.

Теоретична продуктивність визначається за формулою: [4]:

$$W_m = c_\omega \cdot B \cdot V ; \quad (2.14)$$

$$W_m = 0.36 \cdot 2.7 \cdot 1.88 = 1.83 \text{ га/год.}$$

Фактична продуктивність агрегату:

$$W = W_m \cdot \tau ; \quad (2.15)$$

$$W = 1.83 \cdot 0.85 = 1.56 \text{ га/год.}$$

2.5 Розрахунки на міцність елементів конструкції

2.5.1. Розрахунок шатуної групи

Наведемо схему навантажень на шатун копача:

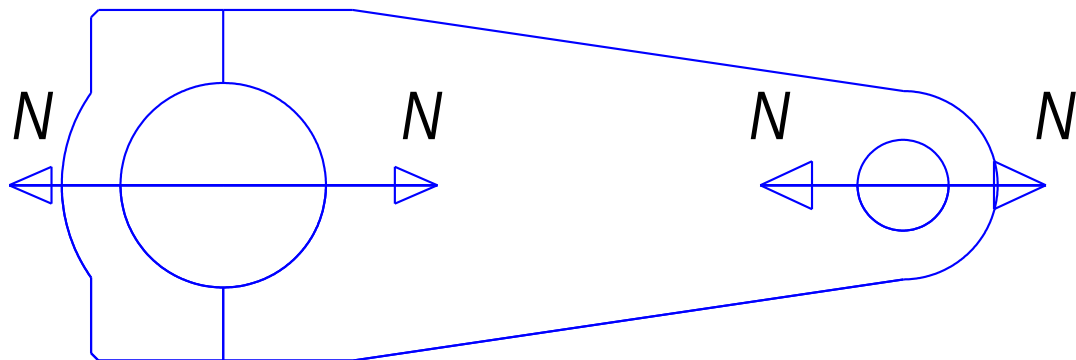


Рис. 2.4 Схема навантажень на шатун.

Навантаження на шатун N, складає [4]:

$$N = 499,8 \cdot 525 / 350 = 749,7 \text{ Н}$$

Напруження на розтяг-стиск визначається за формулою:

$$\sigma = N/A \leq \sigma_{\text{adm}}; \quad (2.16)$$

де, A – площа поперечного перерізу.

$$A = a \cdot b; \quad (2.17)$$

$$A = 0,055 \cdot 0,045 = 0,002475 \text{ м}^2.$$

$$\sigma = 749,7 / 0,002475 = 0,303 \text{ МПа}$$

$$\sigma \leq \sigma_{\text{adm}} = 120 \text{ МПа.}$$

2.5.2 Розрахунок коромисла

Коромисло копач витримує навантаження на згин, величиною $N = 749,7 \text{ Н}$.

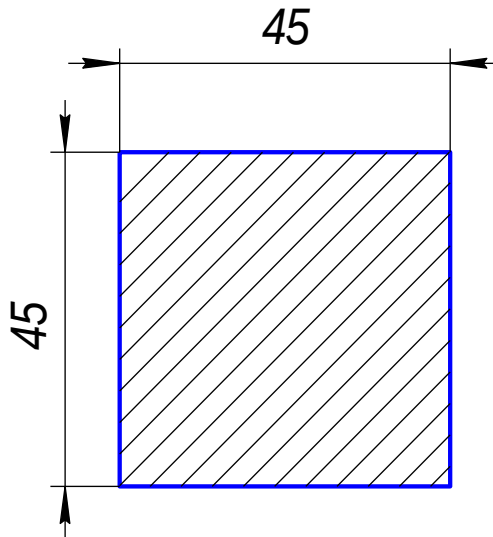


Рис. 2.5. Схема поперечного перерізу коромисла

Напруження визначається за формулою: [5]:

$$\sigma_{\text{adm}} \geq M_{\text{max}}/W = \sigma; \quad (2.18)$$

де, M_{max} – максимальне значення згинаючого моменту.

W – полярний момент інерції коромисла [8].

$$M_{\text{max}} = N \cdot L; \quad (2.19)$$

$$M_{\text{max}} = 749,7 \cdot 0,35 = 262,4 \text{ Нм};$$

$$W = b \cdot a^2/6; \quad (2.20)$$

де, $b=0,045$ м; $a= 0,045$ м – розміри поперечного перерізу коромисла.

$$W = 0,045 \cdot 0,045^2/6, 15,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$W = 262,4/15,2 \cdot 10^{-6} = 17,26 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{adm}} = 120 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\text{adm}} \geq \sigma.$$

2.5.3 Розрахунок зварних швів

В конструкції мають місце зварні з'єднання. Тому необхідно провести розрахунок їх на розтяг. Умова міцності зварного шва має вигляд [5]:

$$\sigma_{adm} \geq \sigma; \quad (2.21)$$

$$\sigma = F/a \cdot b; \quad (2.22)$$

де, a і b – ширина та товщина полоси металу, який зварюється.

$$\sigma = 749,7/0,045 \cdot 0,045 = 370 \text{ МПа.};$$

Отже, умова міцності виконується.

2.6. Теоретичне обґрунтування роботи дискових подавачів коренеподів

Копуючі органи коренезбиральних комбайнів поділяються на два типи: підкопуючі та екстракційні лапи чи леміхи.

Підкопуючі лапи встановлюються на машинах, основна функція яких полягає у руйнуванні зв'язку між коренем буряків та ґрунтом.

Екстрактори застосовуються в машинах із попереднім зрізанням гички. Ці копачі поділяються теж на два типи:

- пасивні, які працюють без додаткового механічного приводу;
- активні, які виконують функцію викопування за рахунок руху їхніх робочих елементів.

Серед активних копачів найбільшого поширення набули дискові та лемішні конструкції. [1]

Дисковий екстракторподавач (рис. 2.6) складається з двох роторів, які встановлюються один відносно одного під певними кутами:

- кут між вертикальними осями 2β — забезпечує оптимальні параметри захоплення коренеплодів;
- кут між горизонтальними осями 2γ (так званий кут атаки) — сприяє ефективному проникненню в ґрунт та мінімізації втрат під час викопування.

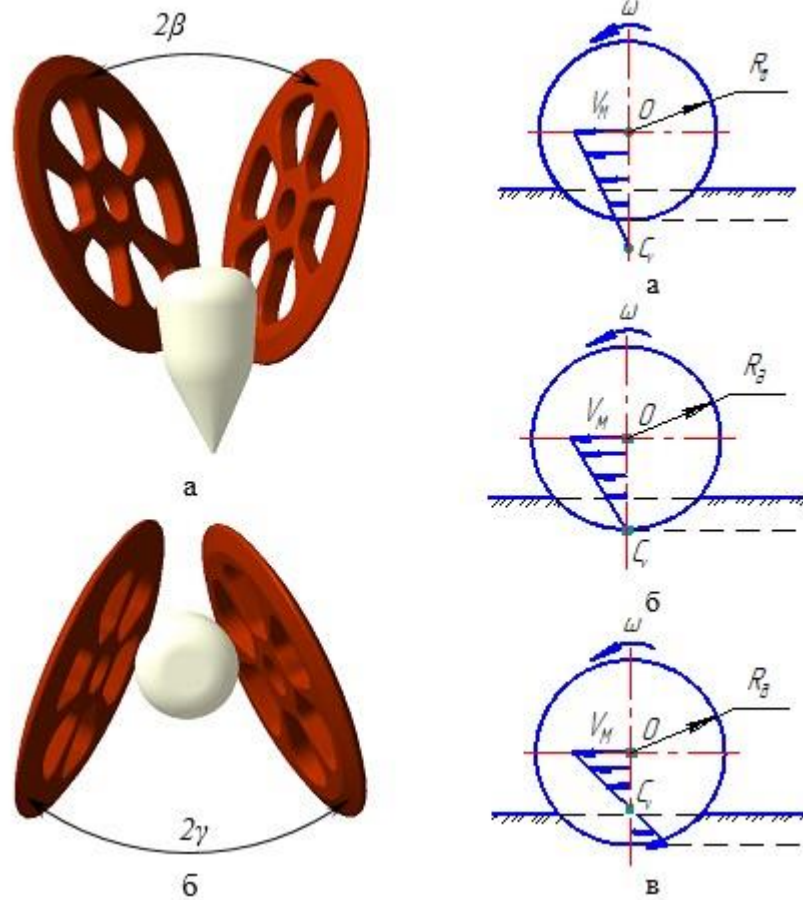


Рис. 2.6. Модель дискового подавача роторного типу (А,Б) та діаграма швидкостей точок (а,б,в):

Основним параметром ефективної роботи подавачів коренплодів є показник кінематичного режиму її роботи:[5]

$$\lambda_o = \frac{V_o}{V_m}, \quad (2.23)$$

де V_o - колова швидкість роторів, м/с;

V_m - лінійна робоча швидкість руху комбайна, м/с.

На рис. 2.6 а, б, в зображені епюри швидкостей відносно поверхні поля точок ротора при змінних величинах λ_o . Прийmemo, що диски встановлені у вертикальній площині, при значенні $\beta = 0$. В розрахунковій схемі C_v - являється миттєвий центр обертання ротора відносно площини. Довжина від точки O до центра C_v залежить

від показника λ_0 . При зменшенні показника кінематичного режиму роботи λ_0 , відстань OC_v зростає. За умови, що $OC_v > R_0$, де R_0 - радіус ротора подавача, при $\lambda_0 < 1$ (рис.2.6, а), його нижні поверхні намагаються змістити шар ґрунту та коренеплоди по напрямку руху комбайна. При умові, що $OC_v = R_0$, $\lambda_0 = 1$ (рис.2.6, б) нижні поверхні роторів спричиняють несуттєву дію на переміщення шару та буряків. За випадком, при $OC_v < R_0$, $\lambda_0 > 1$ (рис.2.6, в) в нижній положенні подавачів прагнуть змістити шар ґрунту з коренеплодами по напрямку зворотньому руху комбайна. За умови значення показника $\lambda_0 \geq 1$, що відповідає режиму роботи ротораподавача буряків з активним гідроприводом. Тоді, крім викопування коренеплоду з ґрунту, їх потрібно перемістити на наступний етап очистки та бітери, розміщені після копача, тобто цей процес можуть створити активні екстрактори вібраційної дії.

Встановлено, що раціональними параметрами роботи активних екстракторів вібраційної дії в комплексі з роторними подавачами становлять: діаметром від 670 до 780 мм, кут розвалу має бути в діапазоні від $2\beta = 25...30^\circ$, кут атаки повинен становити $2\gamma = 20...25^\circ$, значення кінематичного показника режиму роботи в межах від $\lambda = 2...2,5$.

2.7. Моделювання процесу викопування коренеплоду копачем

Результати продемонстрували, що вплив на кореневу систему (гіпотетичного) коренеплоду формує зону інтенсивного зрізу у точці контакту. Це призводить до утворення поверхні деформації, яка практично відповідає контурам буряка (рис. 2.7.а). Таким чином, очікується, що адгезія ґрунту до поверхні буряків без корінців буде мінімальною. Характеристики ґрунтової маси, розташованої між напрямом деформації та поверхнею коренеплоду, вказують на те, що його поверхня після екстракції залишатиметься практично незмінною. Це пояснюється тим, що напруження в області зламу є незначним і має розтягувальні (додатні) значення.

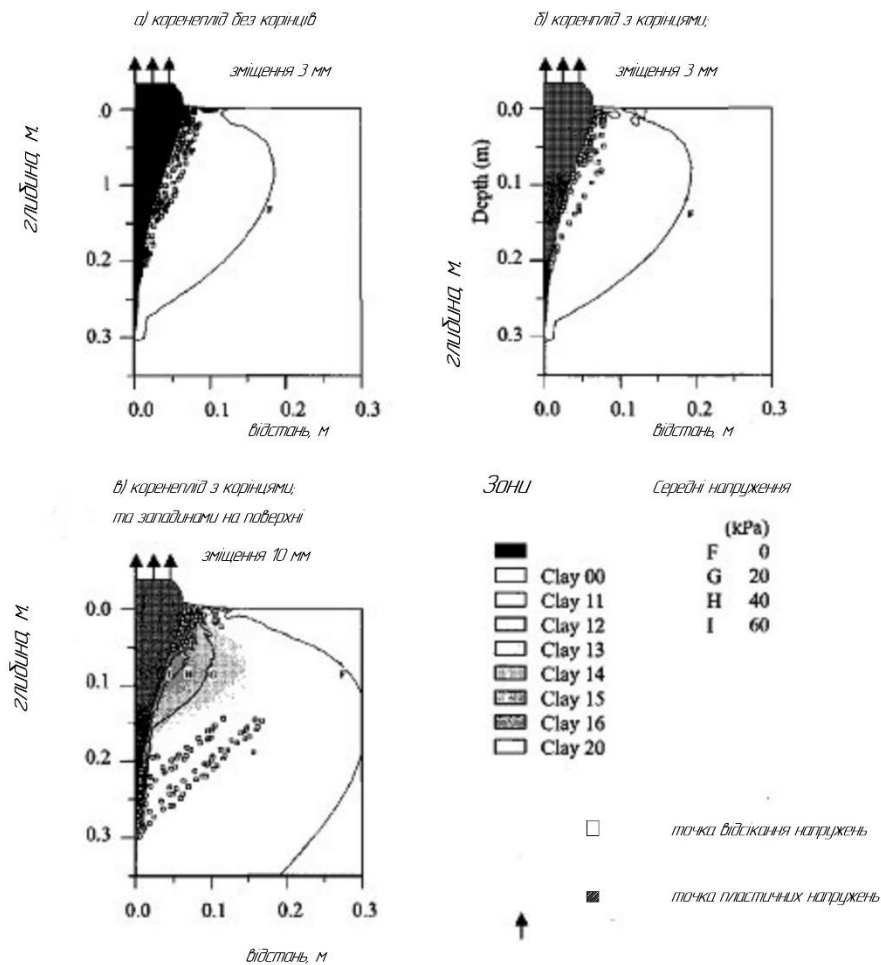


Рис. 2.7. Зони деформації ґрунту та усередненні значення напружень при екстрагуванні коренеплодів

Викопування буряків з нерозгалуженою кореневою системою, які виходять із його поверхні, у площині, що перпендикулярна борозенкам поверхні (рис. 2.7.б), створює зону натягу, яка розташовується поблизу поверхні плоду. Тільки в нижній частині коренеплоду ця ділянка знаходиться на певній відстані від поверхні. У результаті очікувана адгезія ґрунту є низькою, хоча й трохи вищою, ніж у коренеплодів без коріння.

Через позитивне середнє напруження між зоною руйнування і поверхнею буряка значних змін у зчепленні ґрунту з коренеплодом не передбачається. Під час копання буряків в місцях точок натягу поблизу поверхні відбувається накопичення ґрунту (рис. 2.7.в). Ці скупчення спостерігаються біля основи та у верхній та нижній

частині коренеплоду, а також в середині вони розташовані на деякій відстані від його поверхні.

Таким чином, можна очікувати, що у цьому випадку адгезія ґрунту буде значно вищою порівняно з коренеплодом без корінців. Середнє напруження між зоною зламу і поверхнею буряка залишається позитивним, тому після екстракції характер зчеплення ґрунту з поверхнею суттєво не зміниться.

Висновки до розділу 2:

1. Визначено середнє значення діаметра (d_k) корінця у горизонті ґрунту на глибині від 0 до 300 мм становив 25 мм, з площею поперечного перерізу (S_k), що становить біля 22,1 мм². На глибині залягання менше 300 мм середній діаметр збільшувався до 38 мм.
2. Екстракція коренеплоду з нерозгалуженою кореневою системою у зоні, перпендикулярній борізмам поверхні, утворює зону натягу біля поверхні коренеплоду, яка в нижній частині буряка розташована на незначній віддалі від його поверхні. У результаті адгезія ґрунту є низькою, але перевищує значення для коренеплодів, що не мають корінців.
3. Спостерігається під час викопування утворення накопичень ґрунту у відповідній площині натягу, сконцентрованих вздовж основи на верхніх і нижніх кінцях буряка, тоді як у середній частині вони розташовані далі від поверхні коренеплоду.
4. У цьому випадку адгезія ґрунту є вищою порівняно з коренеплодом без корінців. Середнє напруження між зоною зламу і поверхнею буряка залишається позитивним, що забезпечує рівномірне зчеплення ґрунту після екстракції.
5. Запропонована конструкція забезпечує високу ефективність роботи та зменшує пошкодження коренеплодів при екстракції, що робить дисково-лемішні копачі одними з найпопулярніших серед активних викопувальних робочих органів.

3.РЕЗУЛЬТАТИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

3.1. Визначення стану поверхні цукрових буряків системи контролю очищення комбайна за допомогою візуалізаційного пристрою

Гіперспектральна візуалізація (HSI), також відома як "хімічна візуалізація" або "спектроскопічна візуалізація", є потужною технологією, яка поєднує традиційну обробку зображень і спектроскопічний аналіз для отримання як просторової, так і спектральної інформації про об'єкт одночасно. Завдяки вдосконаленню технологій спектрографів, новим розробкам у конструкції детекторів, зниженню витрат і покращенню роботи апаратного та програмного забезпечення, ця технологія дедалі частіше застосовується в аграрних процесах. За останні десять років кількість впроваджень HSI у науці про агропродовольчу продукцію стрімко зросла. [7,8,9]:

Найбільш поширеними сферами застосування HSI є процеси, що стосуються харчового ланцюга виробництва в умовах приміщень, включно з контролем якості овочів, фруктів, зернових, м'яса та продукції з птиці. У цій роботі автори використали систему ближньої інфрачервоної HSI для контролю очищення цукрових буряків безпосередньо на збиральній машині в польових умовах. Це абсолютно новий виклик, оскільки вимірювання проводяться в польових умовах під час процесу збору врожаю.

У роботі представлено й проаналізовано потенціал застосування HSI для моніторингу якості процесу збору врожаю цукрових буряків.

Системи візуалізації зазвичай дуже чутливі до зовнішніх впливів навколишнього середовища, які виникають при їх використанні в польових умовах. Наприклад, зміни освітлення через погодні умови або зміни динамічних властивостей процесу вимірювання можуть суттєво впливати на їх роботу. Гіперспектральна візуалізаційна система (HSI) також має високу чутливість до умов навколишнього середовища.

Щоб використовувати цю систему на полі під час роботи збиральної машини, необхідно встановити захисний кожух навколо зони вимірювання для зменшення впливу зовнішнього освітлення. Крім того, потрібно обладнати спеціальну ширококутову систему освітлення, яка дозволяє проводити вимірювання відбивної здатності об'єкта з високою частотою кадрів.

Висока частота кадрів є необхідною через використання лінійно-скануючої HSI системи (push-broom), яка аналізує сцену, скануючи її лінія за лінією.

3.2. Матеріали та методи

Для цього дослідницького проєкту було використано гіперспектральну візуалізаційну систему *Helios Core NIR*, розроблену компанією *EVK DI Kerschhaggl GmbH*. Система складається з спектрографа з вбудованим оптичним дисперсійним пристроєм і детектора на базі камери InGaAS. Вона забезпечує спектральні дані, що відповідають просторовій лінії, у спектральному діапазоні від 960 до 1680 нм із роздільною здатністю 252 спектральних пікселів (довжин хвиль). [11]

При скануванні рухомого об'єкта лінія за лінією ці дані формують тривимірний гіперспектральний куб, який має дві просторові осі та одну спектральну (рис. 3.1).

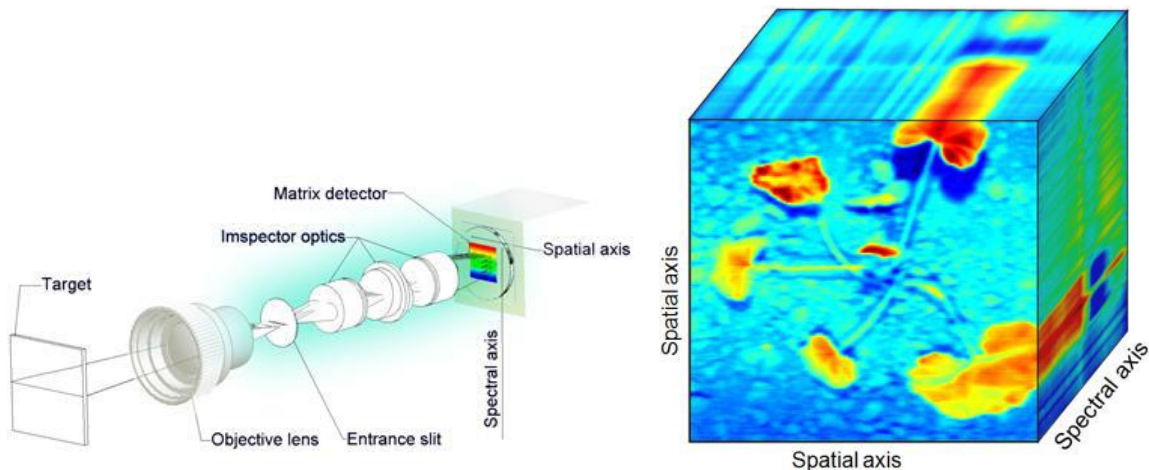


Рис. 3.1. Схематичний принцип роботи сенсорної системи спектральної візуалізації (ліворуч) (Thiel та ін., 2010); Гіперспектральний куб NIR-даних рослини (праворуч) (Thiel та ін., 2012)

Для польових випробувань спектральну систему було встановлено на бурякозбиральний комбайн *Grimme Maxtron 620*. Цей комбайн має багато регулювань для оптимізації процесу очищення під час збору врожаю. На сучасному етапі контроль якості цукрових буряків і відповідні налаштування системи очищення виконуються вручну оператором комбайна.

Було проведено серію експериментів за різних умов навколишнього середовища. Основною метою польових випробувань було визначення співвідношення чистих, забруднених і пошкоджених ділянок поверхні цукрових буряків під час збору врожаю.

Для проведення експериментів було розроблено спеціальний сенсорний модуль. Цей модуль включає HSI-систему *Helios Core NIR*, промислову кольорову камеру та чотири активні джерела світла (галогенні лампи), встановлені в алюмінієвій рамці, захищеній від зовнішнього освітлення. Усе обладнання було змонтовано на бурякозбиральному комбайні *Maxtron 620* для вимірювань у польових умовах (рис. 3.2).

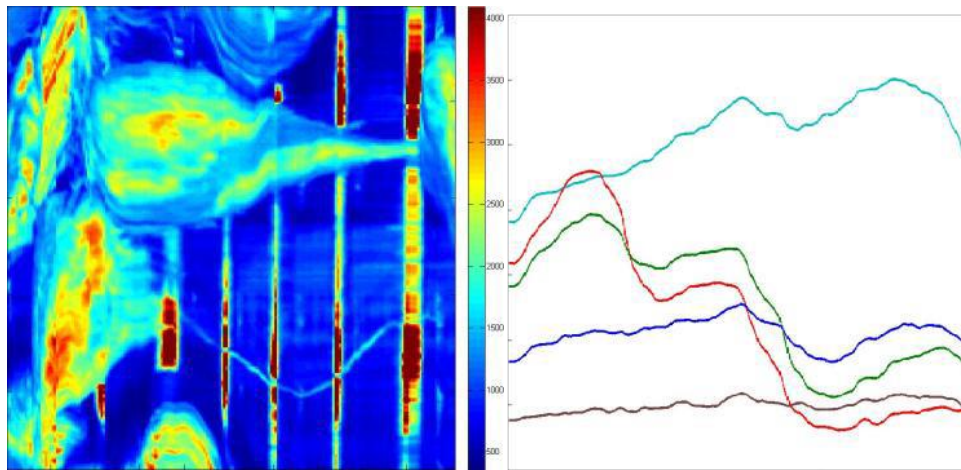


Рис. 3.2. Бурякозбиральний комбайн *Grimme Maxtron 620* (ліворуч), реалізація HSI-системи над конвеєрною стрічкою на комбайні (праворуч)

Промислову кольорову камеру використовували для отримання довідкових даних стану поверхні цукрових буряків. На основі даних кольорового зображення було виконано ручну класифікацію, яка визначена як контрольне значення. Ці

значення були співвіднесені з автоматизованою класифікацією на основі спектральних даних сенсорної системи HSI. Вимірювання проводилися за різних налаштувань інтенсивності очищення системи збиральної машини – мінімального налаштування очищення (менше пошкоджені цукрові буряки та більше забруднення ґрунту), стандартного налаштування очищення та високого рівня очищення (більше пошкоджених цукрових буряків, менше забруднення ґрунту). Окрім корекції темного струму та балансування рівня білого спектральних необроблених даних, була виконана спеціальна процедура попередньої обробки для усунення нерелевантних і заважаючих пікселів, створених відбиттям фону за зоною фокусування та транспортними смугами конвеєра. Загальні фонові пікселі мають низьку інтенсивність відбиття у всьому спектрі NIR, але особливо в нижніх діапазонах хвиль (рис. 3.3, праворуч). Базуючись на цьому факті, було встановлено фіксований мінімальний поріг, що стосується коефіцієнта відбиття при 1050 нм, щоб ідентифікувати та видалити пікселі фону з цікавої області. Для ідентифікації та видалення також пікселів, на які впливає пряме відображення металевих конвеєрних стрижнів, було встановлено додатковий фіксований максимальний поріг. Через загальну високу відбивну здатність смуг, але особливо у вищих діапазонах хвиль, цей поріг був пов'язаний із відбивною здатністю при 1600 нм.





інтенсивність відбиття / довжина хвилі / нм

Рис. 3.3. Кольорове зображення RGB для ручного еталонного контролю якості цукрових буряків (ліворуч); спектральне зображення системи HIS на довжині хвилі 1200 нм (посередині); типова характеристика відбиття в діапазоні хвиль NIR в діапазоні 970 нм і 1680 нм: конвеєрні стрижні {світло-блакитний}, пошкоджений цукровий буряк {червоний}, звичайний цукровий буряк {зелений}, втрачений цукровий буряк у ґрунті {темно-синій} і коефіцієнт відбиття фону {коричневий}

Для автоматизованої класифікації вимірних спектральних даних регіону інтересу - цукрового буряка - використовувався алгоритм «Spectral Angle Mapper» (SAM). Алгоритм SAM базується на обчисленні спектральної подібності n -вимірного простору ознак, який формується n спектральними каналами (рис. 3.4). Тому було виміряно та збережено в базі даних три спектральні характеристики (посилання SAM) різних станів (пошкоджений, нормальний та виснажений ґрунт) цукрових буряків. Багатовимірний кут між кожним піксельним спектром і класифікаційним спектром був розрахований алгоритмом SAM для опису подібності.

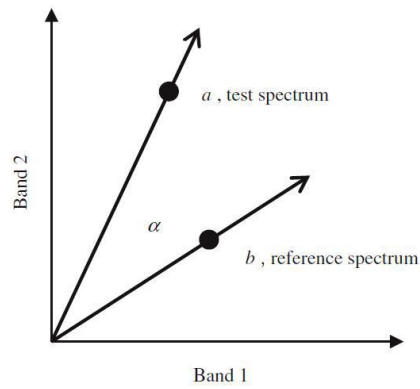


Рис. 4. Схематичний алгоритм SAM для обчислення багатовимірного кута

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2}} \right)$$

3.3. Результати досліджень

Еталонні дані для машинного аналізу були визначені вручну шляхом аналізу даних зображення RGB (рис. 3.3, ліворуч). Ці зображення були проаналізовані досвідченим експертом для налаштування системи очищення комбайна. Таким чином визначено еталонні значення тарності покриття ґрунту очищеної, пошкодженої та нормальної поверхні цукрових буряків.

Процедуру попередньої обробки для усунення небажаних пікселів без будь-якої інформації про цукрові буряки було перевірено на основі даних, виміряних на комбайні під час збирання врожаю. На рис. 4 показано результат двох описаних процедур фільтрації.

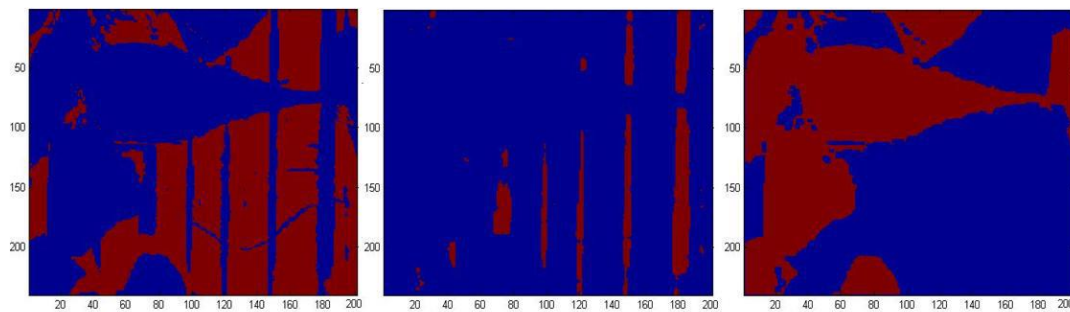


Рис. 3.5. Результат фільтра мінімального порогу при 1050 нм (зліва); результат фільтра максимального порогу при 1600 нм (середина); кінцевий результат визначення бінарного матеріалу цукрових буряків

Ліве зображення рис. 3.5 показує результат фільтрації фонового пікселя за конвеєром, зображення посередині показує результат фільтрації пікселя конвеєрної смуги. На правому зображенні показано кінцевий результат після процедури фільтрації. Вимірний матеріал цукрових буряків представлено на цьому бінарному зображенні. Ці попередньо вибрані області є основою для класифікації стану поверхні. Було виміряно два цукрових буряка з типовими різними умовами поверхні (рис. 3.6: А-грунт втрачений; В-пошкоджений), які представлені в даній роботі.

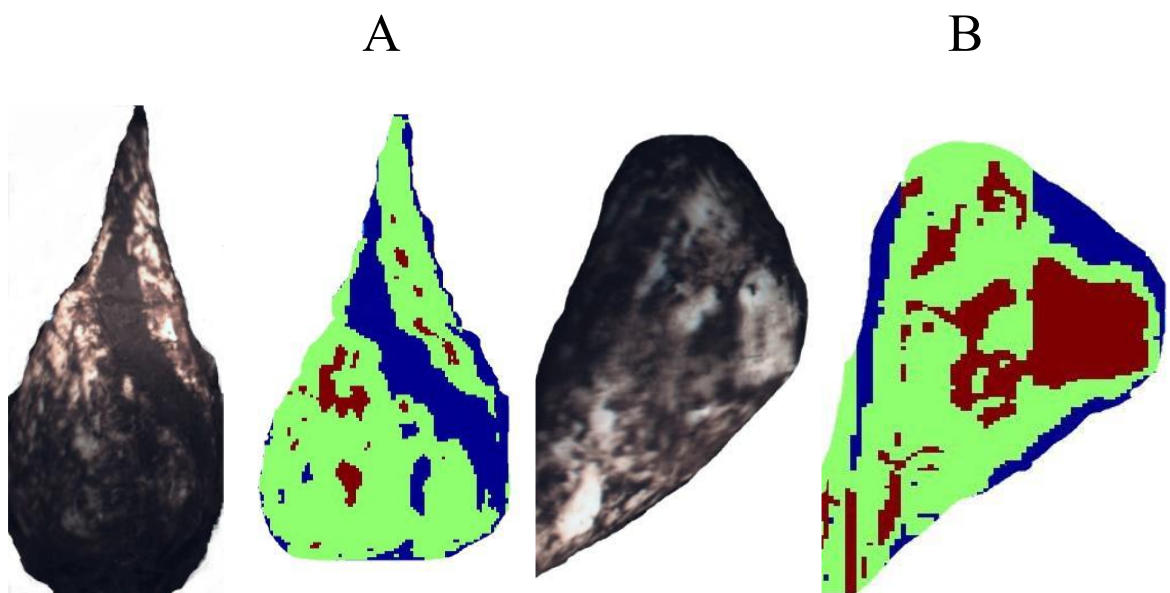


Рис. 6. Порівняння двох RGB-зображень і класифікованих поверхонь цукрових буряків шляхом аналізу даних HIS за допомогою алгоритму SAM (червоний - пошкоджений, зелений - цілий, синій - непридатний)

Таблиця 3.1.

Результат класифікації поверхні цукрових буряків – цукровий буряк «А»

Стан поверхні	Ручна класифікація	Класифікація SAM
Втрачений у ґрунті	18%	12%
Неушкоджені коренеплоди	77%	84%
Пошкоджені	5%	4%

Таблиця 3.2.

Результат класифікації поверхні цукрових буряків – цукровий буряк «В»

Стан поверхні	Ручна класифікація	Класифікація SAM
Втрачені у ґрунті	9%	7%
Неушкоджені коренеплоди	71%	78%
Пошкоджені	20%	15%

На рис. 6 показано результат класифікації SAM у порівнянні з RGB-зображенням двох різних цукрових буряків. Чітко видно зони різних умов поверхні А, В показано в табл.3.1 і табл. 3.2 , що показують процентну частку трьох класифікацій, виконаних вручну шляхом інтерпретації RGB і обчислень, здійснених за допомогою алгоритму SAM. Висока відповідність цих значень підтверджує потенціал спектрального вимірювання для класифікації стану поверхні. Аналіз гіперспектральних даних за допомогою алгоритму SAM пропонує зручне рішення для визначення ефективності застосування різного типу копачів коренеплодів.

Висновки до розділу 3.

Було розроблено метод вимірювання та фільтрації впливу транспортерів і роторних подавачів комбайна під зоною сканування спектральної системи. Виконуючи ці процедури фільтрації, небезпечні зони гіперспектрального зображення можна було б видалити з вимірних даних. На основі польових даних було вилучено різні спектри цукрових буряків і створено базу даних з еталонними значеннями трьох відповідних станів поверхні (цілий, втрачені, пошкоджений). За допомогою алгоритму SAM було реалізовано класифікацію поверхонь цукрових буряків. Результати цієї автоматичної класифікації порівнювалися з зображеннями RGB, класифікованими вручну. Результати класифікації були у високій відповідності до класифікації вручну. Результати показали, що вимірювання спектрального відбиття має високий потенціал для класифікації поверхонь,

наприклад. контроль якості цукрових буряків у польових умовах для регулювання параметрів системи подавання та очищення коренеплодів збиральною машиною.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз причин слабкого зчеплення ґрунту після екстракції буряків може стати основою для розробки вдосконалених пристроїв для викопування, які б стали альтернативою складним механізованим бурякокопачам. Враховуючи актуальність якості роботи машин, цей метод може бути застосований відповідно до сучасних стандартів продуктивності бурякозбиральних агрегатів. Найкращі результати при екстракції демонструють комбіновані копачі, які поєднують лінійні та обертові рухи.
2. Визначено середнє значення діаметра (d_k) корінця у горизонті ґрунту на глибині від 0 до 300 мм становив 25 мм, з площею поперечного перерізу (S_k), що становить біля 22,1 мм². На глибині залягання менше 300 мм середній діаметр збільшувався до 38 мм.
3. Спостерігається під час викопування утворення накопичень ґрунту у відповідній площині натягу, сконцентрованих вздовж основи на верхніх і нижніх кінцях буряка, тоді як у середній частині вони розташовані далі від поверхні коренеплоду.
4. Запропонована конструкція забезпечує високу ефективність роботи та зменшує пошкодження коренеплодів при екстракції, що робить дисково-лемішні копачі одними з найпопулярніших серед активних викопувальних робочих органів.
5. Було розроблено метод вимірювання та фільтрації впливу транспортерів і роторних подавачів комбайна під зоною сканування спектральної системи. На основі польових даних було вилучено різні спектри цукрових буряків і створено базу даних з еталонними значеннями трьох відповідних станів поверхні (цілий, втрачені, пошкоджений). За допомогою алгоритму SAM було реалізовано класифікацію поверхонь цукрових буряків. Результати показали, що вимірювання спектрального відбиття має високий потенціал для класифікації поверхонь, наприклад. контроль якості цукрових буряків у польових умовах для регулювання параметрів системи подавання та очищення коренеплодів збиральною машиною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. –К.: Урожай, 2001. – 384 с.
2. Хайліс Г.А. Коновалюк Д.М. Розрахунок робочих органів збиральних машин: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1991. – 199 с.
3. Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин. Конструювання і розрахунок. Тернопіль: Поліграфіст.1997.- 120с.
4. 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.
5. Гевко Р.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин: Дис. д-ра техн. наук: 05.05.11./ Київ. 2000.- 362с.
6. Bruinsma, J. 2009. *The Resource Outlook to 2050*. FAO Expert Meeting, 12.–13.10.2009 , Rome
7. KTBL (Hrsg.). 2009. *Landwirtschaft im Umbruch – Herausforderungen und Lösungen*. Goslar, Reihe KTBL-Schrift, Band 474
8. Cassmann, K. G. 2010. *Global food security, yield limits, precision agriculture, conservation of natural resources and environmental quality*. Proceedings 10th International Conference on Precision Agriculture ICPA, 18.–21.06.2010, Denver/USA, p.
9. Wunder, E.; Kielhorn, A.; Klose, R.; Thiel, M.; Ruckelshausen, A. 2012. *GIS- and sensor-based technologies for individual plant agriculture*, Landtechnik 67, no. 1, pp. 37-41.
- 10.V. Tsukor, M. Thiel, J. Sonnen, A. Ruckelshausen."Surface condition determination of sugar beets for a harvester cleaning control system using a NIR hyperspectral imaging system". EFITA-WCCA-CIGR Conference “Sustainable Agriculture through ICT Innovation”, Turin, Italy, 24-27 June 2013.

11. Ruckelshausen, A., Biber, P., Dorna, M., Gremmes, H., Klose, R., Linz, A., Rahe, F., Resch, R., Thiel, M., Trautz, D. and Weiss, U. 2009. *BoniRob – an autonomous field robot platform for individual plant phenotyping*, Proceedings of the 7th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers, pp. 841-847
12. Stina Frosch, Bjørn Skovlund Dissing, Jens Adler-Nissen and Michael Engelbrecht Nielsen. 2011. *Spectral Imaging as a Tool in Food Research and Quality Monitoring of Food Production*, Wide Spectra of Quality Control,
13. Dr. Isin Akyar (Ed.), ISBN: 978-953-307-683-6, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/wide-spectra-of-quality-control/spectral-imaging-as-a-tool-in-food-research-and-quality-monitoring-of-food-production>
14. Thiel, M., Rath, T., Ruckelshausen, A., 2010. *Plant moisture measurement in field trials based on NIR spectral imaging – a feasibility study*, 2nd International Workshop on Image Analysis in Agriculture, 26-27. August 2010, Budapest, pp 16-29. ISBN 978-963-503-417-8