

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

Обґрунтування параметрів та режимів роботи транспортно-шнекового очисника машини МКП-4

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-24
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____Литвиненко Ярослав Андрійович

Керівник: _____Пугач Андрій Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2025

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Пугач А.М., професор		
6	Пугач А.М., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2025 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.06.2025 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 12.09.2025 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 07.11.2025 р.	Виконав
5	Економічний	до 14.11.2025 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 8.12.2025 р.	Виконав

Студент

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Литвиненко Я.А. Обґрунтуванням параметрів та режимів роботи транспортерно-шнекового очисника машини МКП-4 / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У 1 розділі представлено огляд літературних джерел за темою досліджень.

У 2 розділі Обґрунтовано модель агрегату

У 3 розділі представлено програму та методику експериментальних досліджень.

У 4 розділі представлено результати досліджень.

У 5 розділі приведено аналіз стану охорони праці.

У 6 розділі приведено розрахунок техніко-економічних показників.

Машинописного тексту____, малюнків____, таблиць____, містить джерел використаної літератури____ і має графічної частини____ листів

Литвиненко Я.А. Існуючі способи очистки коренеплодів буряків / Я.А. Литвиненко // The 12th International scientific and practical conference «European congress of scientific discovery» (11,10-12,2025), Madrid, Spain. 30-33р

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОЧИСНИКІВ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ.....	13
1.1. Огляд технологічних процесів очищення вороху та конструкцій очисників коренеплодів.....	13
1.2. Пошуки аналітичні.....	23
Висновки.....	27
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕБІГУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОРОХУ КОРЕНЕПЛІДНОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	29
2.1. Розрахунок пропускної здатності комбінованого очисника вороху коренеплодів.....	29
2.2. Визначення основних параметрів комбінованого очисника.....	40
Висновки.....	47
3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ.....	49
3.1. Програма досліджень, а також об'єкт і предмет експерименту.....	49
3.2. Методика визначення маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів.....	52
3.3. Методика проведення польових експериментальних і порівняльних досліджень комбінованого очисника.....	58
Висновки.....	61
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	63
4.1. Лабораторно-польові експериментальні дослідження комбінованого очисника.....	63
4.2. Модернізованої машини випробування польові.....	76
Висновки.....	77

5	ОСНОВНІ ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ВИКОПУВАННІ КОРЕНЕПЛОДІВ БУРЯКІВ.....	79
	Висновки	82
6	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ПЕРЕСУВНОЇ МАШИНИ З ТРАНСПОРТНО-ШНЕКОВИМ ОЧИСНИКОМ КОРЕНЕПЛОДІВ БУРЯКУ...84	
	Висновки.....	89
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	91
	БІБЛІОГРАФІЯ.....	97
	ДОДАТКИ.....	101

ВСТУП

Збирання коренеплодів цукрового буряку є одним із найвідповідальніших і найресурсомісткіших етапів технології його вирощування, оскільки саме на цьому етапі формується фактична величина валового збору та якість продукції, що надходить на переробку. На відміну від зернових або технічних культур, коренеплоди буряку характеризуються складною морфологічною структурою, високою масою, чутливістю до механічних пошкоджень і різною глибиною залягання в ґрунті, що зумовлює підвищені вимоги до технічних засобів збирання, їхньої налаштовуваності, конструктивних параметрів і технологічної надійності. У сучасних умовах зростання інтенсивності сільськогосподарського виробництва, обмеженості трудових ресурсів та необхідності мінімізації витрат на гектар посіву особливого значення набуває впровадження високопродуктивних, енергозберігаючих та адаптивних машин і технологічних схем збирання.

Сучасний парк технічних засобів, що застосовуються у процесі збирання коренеплодів буряку, представлений широким спектром машин: від простих однорядних викопувачів до високопродуктивних самохідних багаторядних комплексів, що поєднують у собі функції зрізування гички, підкопування, вилучення, очищення, первинного сортування та транспортування коренеплодів. Такі машини, як правило, функціонують у складних агротехнічних умовах, зокрема при різному механічному складі ґрунтів, неоднорідній структурі посівів, значній вологості або ущільненості ґрунтового шару, наявності післяжнивних решток і бур'янів. Вихідні умови збирання суттєво впливають на стабільність технологічного процесу, рівень механічних пошкоджень коренеплодів, ступінь засміченості вороху та ефективність наступних операцій з транспортування і переробки.

З огляду на високу собівартість виробництва цукрового буряку та його ключову роль у забезпеченні стабільного функціонування цукрової промисловості України, особливо важливим є підвищення ефективності

збирання та зниження технологічних втрат. За оцінками провідних наукових установ, втрати коренеплодів на етапі збирання можуть досягати 10–18 %, що є критичним показником, оскільки навіть 1 % втрат буряку еквівалентний значним економічним збиткам у масштабах підприємства. Тому актуальними залишаються питання вдосконалення конструкцій робочих органів машин, оптимізації режимів їх роботи, обґрунтування параметрів систем копання й очищення, а також удосконалення технологічних схем збирання з урахуванням інноваційних підходів у механізації аграрного виробництва.

Окрім технічних аспектів, процес збирання коренеплодів тісно пов'язаний з агробіологічними характеристиками рослини, строками проведення операцій та погодними умовами. Несвоєчасне або неякісне зрізування гички може призвести до пошкодження головки коренеплоду, а надмірне заглиблення робочих органів ріжучо-підкопувального механізму - до значного приросту ґрунту у воросі, збільшення енерговитрат і швидкого зношування техніки. Водночас занадто мілке копання зумовлює непідкопування частини коренеплодів і їхнє залишення в ґрунті. Тому ефективність технологічного процесу збирання значною мірою визначається точністю налаштування машин до конкретних польових умов.

Істотний вплив на якість функціонування технічних засобів має конструкція елементів очисних систем. Залежно від типу машин можуть застосовуватися пальчасті, спіральні, пруткові, вібраційні та комбіновані очисні пристрої, які забезпечують видалення ґрунтових частинок, рослинних решток та недорозвинених коренеплодів. Рівень очищення коренів прямо впливає на продуктивність подальших операцій, адже забруднений ворох ускладнює транспортування та зменшує ефективність первинної переробки. Це, у свою чергу, підвищує вимоги до вибору раціональних параметрів очисних систем, а також до впровадження алгоритмів автоматичного регулювання, здатних адаптувати роботу машин до змінного стану ґрунту.

У сучасній практиці провідних аграрних підприємств спостерігається тенденція до використання високотехнологічних багатофункціональних

бурякозбиральних комплексів, оснащених бортовими комп'ютерними системами, датчиками контролю глибини копання, оптичними системами визначення положення рослин, GPS-навігацією та телеметричними засобами. Такі машини дозволяють значно підвищити точність технологічних операцій, оптимізувати витрати пального, зменшити навантаження на оператора та забезпечити максимальну якість збирання в умовах інтенсивного виробництва. Проте широке впровадження подібних систем вимагає глибокого наукового обґрунтування їх конструкцій, аналізу ефективності, а також адаптації до специфічних умов вирощування буряку в Україні.

Разом із тим у багатьох господарствах досі застосовуються причіпні чи навісні машини більш ранніх поколінь, ефективність яких залежить переважно від рівня підготовки персоналу та умов експлуатації. У таких випадках важливо забезпечити раціональне налаштування швидкісних і робочих параметрів, своєчасне технічне обслуговування та дотримання науково обґрунтованих схем збирання. Для цих машин особливо актуальним є питання модернізації робочих органів, посилення елементів конструкції, підвищення їхньої надійності та розширення технологічних можливостей без суттєвого збільшення собівартості.

У науковій літературі останніх років значну увагу приділено аналізу напружено-деформованого стану підкопувальних робочих органів, дослідженню траєкторій руху коренеплодів у межах очисних систем, моделюванню взаємодії коренеплодів і ґрунту в зоні робочих органів, оцінці енергетичних параметрів копання та оптимізації конструкцій машинних комплексів. Результати таких досліджень створюють підґрунтя для розроблення нових машин та вдосконалення існуючих технологій. Водночас залишаються актуальними питання підвищення адаптивності машин до неоднорідних умов, зменшення механічних пошкоджень коренеплодів, мінімізації енергоспоживання та оптимізації взаємодії робочих органів із ґрунтовым середовищем.

В умовах реформування аграрної галузі, інтеграції українського ринку у світові економічні процеси та загострення конкуренції між виробниками

особливе значення набуває впровадження інноваційних методів механізації збирання буряку. Сучасні технології, що спираються на дані комп'ютерного моделювання, машинного бачення, адаптивного керування та цифрових методів аналізу стану поля, відкривають нові можливості для підвищення продуктивності, зниження витрат і підвищення екологічної безпеки сільськогосподарського виробництва.

Таким чином, збирання коренеплодів буряку є складною техніко-технологічною системою, що потребує комплексного наукового підходу. Вивчення конструкцій робочих органів, теоретичне обґрунтування параметрів збирання, експериментальні дослідження процесів копання й очищення, а також моделювання взаємодії техніки з елементами рослинно-грунтового середовища становлять фундамент для подальшого вдосконалення бурякозбиральної техніки. У цьому розділі розглянуто сучасний стан механізації процесу збирання коренеплодів, проаналізовано технологічні етапи та принципи роботи машин, обґрунтовано особливості конструкційних рішень, а також наведено напрями удосконалення технічних засобів для забезпечення високої якості збирання та економічної ефективності виробництва.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності очищення коренеплодів кормових буряків шляхом створення вдосконаленої конструкції та визначення оптимальних параметрів роботи очисної системи, адаптованої до змінних польових умов і побудованої на принципі комбінованої дії транспортерно-гвинтового очисного модуля.

Для реалізації поставленої мети передбачено вирішення таких **завдань**:

- на основі ґрунтового аналізу процесів сепарації вороху науково обґрунтувати технологічну схему відокремлення домішок від коренеплодів та вдосконалити конструктивно-технологічну структуру очисного агрегата;

- створити математичну модель, що дозволяє передбачити кількість налиплого ґрунту на поверхні коренеплодів залежно від їхніх морфологічних та агробіологічних характеристик, а також фізико-механічного стану ґрунтового середовища;

- визначити ключові конструктивні та кінематичні параметри функціонування транспортерно-гвинтового очисника, використовуючи математичну модель, що описує залежність між подачею викопаного вороху робочими органами коренезбиральної машини та необхідною пропускною здатністю очисного апарата й продуктивністю гвинтового транспортера;

- виконати комплекс експериментальних досліджень для встановлення закономірностей зміни маси налиплого ґрунту на викопаних коренеплодах залежно від глибини їх розміщення у ґрунті та вологості орного шару;

- здійснити порівняльний аналіз роботи коренезбиральної машини, оснащеної транспортерно-гвинтовим очисником, з аналогічною базовою машиною з метою оцінювання ефективності застосованої технічної модернізації.

Об'єкт дослідження - процеси та закономірності взаємодії коренеплодів із комбінованим транспортерно-гвинтовим очисником у складі коренезбиральної машини.

Предмет дослідження - конструкція, принцип дії та робочі параметри транспортерно-гвинтового очисника коренезбиральної техніки.

1 АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОЧИСНИКІВ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

1.1 Огляд технологічних процесів очищення вороху та конструкцій очисників коренеплодів

Ефективність післязбиральної доробки коренеплодів значною мірою визначається якістю технологічних процесів очищення вороху, що формується під час роботи коренезбиральних машин. Ворох буряків, моркви, селери та інших коренеплодів представлений сумішшю ґрунту, рослинних решток, дрібних коренів, пошкоджених частин рослин та домішок, що утворюються під час викопування та переміщення продукції до бункера. Тому від правильного вибору технології очищення та конструкції очисних пристроїв залежить як якість товарної продукції, так і рівень втрат та пошкоджень коренеплодів.

1. Технологічні особливості очищення вороху коренеплодів

Процес очищення вороху коренеплодів ґрунтується на відокремленні домішок за ознаками маси, розмірів, форми та механічних властивостей частинок. Основними технологічними чинниками, що впливають на результативність сепарації, є:

- вологість і липкість ґрунту – при підвищеній вологості агрегати ґрунту утворюють грудки, що потребують м'якого, але інтенсивного руйнування;
- структура коренеплодів – овальні або конічні форми легше прокочуються по робочих поверхнях;
- швидкість подачі вороху на очисні робочі органи – надмірний потік знижує якість сепарації;
- кут, амплітуда та частота коливань поверхні очищення – визначають рівень подрібнення грудок та переміщення продукту;
- наявність взаємодії «тертя–удар–прокочування», яка сприяє руйнуванню ґрунтових грудок і відділенню домішок.

У сучасних коренезбиральних машинах дедалі ширше застосовуються комбіновані технології очищення, що поєднують транспортерне, вальцьове, гвинтове, щіткове, вібраційне та повітряне очищення. Такий підхід дозволяє ефективно адаптувати процес до різних умов поля.

2. Основні технологічні схеми очищення вороху

Транспортерно-сепараційна схема

Це один із найпоширеніших способів очистки вороху коренеплодів у сучасних машинах. Вона передбачає послідовне переміщення продукту по декількох транспортерах з решітчастими робочими поверхнями. Основні процеси: просіювання ґрунту через щілини транспортерів; інтенсивне струшування вороху під дією коливань та нерівностей поверхні; руйнування грудок ґрунту при взаємодії з напрямними планками та бичами.

Переваги: відносна простота конструкції, висока продуктивність, невелика травматичність коренеплодів.

Недоліки: зниження ефективності за липких ґрунтів, необхідність точного вибору частоти коливань.

Вальцьові (каткові) очисники

Вальцьові системи очищення складаються з ряду паралельно розміщених гумових або сталевих валків, що обертаються у різних напрямках. Між валками утворюються щілини, крізь які проходять домішки.

Функції вальцьових очисників: прокочування коренеплодів по поверхні, що сприяє очищенню; виривання рослинних решток; подрібнення грудок ґрунту.

Переваги: висока якість сепарації, можливість регулювання відстані між валками.

Недоліки: можливе пошкодження коренеплодів при недостатньо м'яких робочих поверхнях.

Гвинтові очисники

Гвинтові елементи (спіралі) забезпечують переміщення вороху уздовж осі очисника з одночасним руйнуванням грудок і відокремленням домішок.

Переваги: інтенсивне перемішування вороху; ефективно подрібнення злиплого ґрунту; можливість регулювання швидкості подачі.

Гвинтові очисники часто комбінують із транспортерними, утворюючи транспортерно-гвинтові системи, що забезпечують найвищу ефективність роботи у складних ґрунтових умовах.

Щіткові очисники. Щіткові барабани або щіткові валки застосовують для делікатного очищення поверхні коренеплодів. Вони зчищають налиплі частинки ґрунту без значного механічного впливу.

Переваги: мінімальні пошкодження коренеплодів, висока якість кінцевого очищення.

Недоліки: знижена ефективність при надмірній вологості вороху.

Вібраційні очисники

Використовуються для інтенсивного подрібнення грудок та відокремлення дрібних домішок. Робочі поверхні здійснюють коливальні рухи з частотою 5–20 Гц. Функціональні можливості: якісне просіювання та видалення дрібних частинок; активація руху вороху по поверхні; поєднання вібрації з повітряним потоком для покращення сепарації.

Повітряні очисники. Ґрунтуються на використанні повітряного потоку, який переносить легкі домішки з вороху. Використання аеродинамічних методів дозволяє: ефективно відокремлювати листя, гичку, соломку та легкі частинки; знижувати навантаження на наступні ступені очищення; забезпечувати високу якість кінцевої продукції.

3. Комбіновані системи очищення.

Сучасні коренезбиральні комбайни застосовують багатоступеневі очисні системи, що поєднують різні принципи роботи. Найпоширенішими є: транспортерно-вальцьові; транспортерно-гвинтові; вальцьово-вібраційні; щітково-гвинтові; повітряно-вібраційні схеми.

Комбіновані системи забезпечують: високий ступінь сепарації за будь-яких умов; зниження питомої енергоємності; мінімізацію травмування коренеплодів; можливість гнучкого регулювання режимів роботи.

4. Сучасні тенденції розвитку очисних систем.

Серед актуальних напрямів удосконалення очисників коренеплодів можна визначити: розробку адаптивних систем з автоматичним регулюванням частоти коливань, швидкості гвинтів та подачі вороху; застосування полімерних покриттів робочих органів для зниження травматичності коренеплодів; створення енергозберігаючих приводів, зокрема з використанням електрогідравлічних систем; інтеграцію датчиків контролю чистоти вороху, що дозволяють керувати роботою очисників у реальному часі; використання модульних конструкцій, які дозволяють швидко адаптувати машину до зміни ґрунтово-кліматичних умов.

5. Порівняльний аналіз ефективності різних типів очисників

Різноманіття конструктивних рішень очисних систем пояснюється значними відмінностями в умовах роботи, типах коренеплодів та структурі ґрунтів. Порівняння найбільш поширених типів очисників дозволяє визначити їхні технологічні можливості та сфери застосування.

Ефективність транспортерних систем. Транспортерні очисники забезпечують стабільне переміщення вороху та одночасне просіювання домішок. Їх ефективність є високою за умов: середньої або низької вологості ґрунту; рівномірної подачі вороху; середньої кількості дрібних домішок.

За даними досліджень, ступінь очищення може досягати 65–75%, залежно від конструкції транспортера та швидкісних параметрів. Основним фактором зниження ефективності є налипання ґрунту на ланки транспортера, що потребує комбінування з іншими методами сепарації.

Ефективність гвинтових очисників

Гвинтові системи демонструють високу продуктивність за складних умов: злиплі ґрунти, велика кількість рослинних решток, значний вміст дрібних коренів. Переваги: руйнування великих грудок; активне перемішування вороху; рівномірне подання коренеплодів до наступних етапів очищення.

Ступінь очищення може перевищувати 70–80%, особливо в комбінованих системах. Важливою перевагою є адаптація до нерівномірного потоку вороху.

Ефективність вальцьових очисників. Вальцьові очисники забезпечують високий ступінь відділення ґрунту (до 75–85%) завдяки інтенсивній взаємодії коренеплодів з робочою поверхнею валків. Особливо ефективні вони за умов: сухого або помірно вологого ґрунту; великої кількості шматків дернини; необхідності відділення довгих рослинних решток.

Недоліком є відносно висока імовірність травмування коренеплодів при неправильному налаштуванні проміжків між валками.

Порівняння делікатності роботи різних очисників. Травматичність є одним із ключових критеріїв оцінювання очисних систем. У цьому аспекті: щіткові очисники мають найнижчий рівень пошкоджень; транспортерні та повітряні системи характеризуються середнім рівнем безпечності; вальцьові та гвинтові конструкції можуть спричиняти пошкодження при високих швидкостях обертання та забрудненості вороху.

Таким чином, для збирання продукції, чутливої до механічних впливів (морква, буряк столовий), раціональним є використання комбінованих систем із включенням делікатних щіткових або повітряних елементів.

Конструктивні тенденції розвитку очисників. Конструкції очисних пристроїв коренезбиральних машин постійно вдосконалюються з огляду на вимоги ринку, підвищення продуктивності та зменшення енерговитрат.

Використання легких та зносостійких матеріалів. Сучасні очисники дедалі частіше оснащують: поліуретановими планками, що знижують травматичність плодів; композитними валками для зменшення маси та навантаження на приводи; еластичними робочими органами, які адаптуються до форми коренеплодів.

Такі матеріали дозволяють зменшити рівень ушкоджень на 10–25%, а також підвищити довговічність вузлів.

Модульний принцип побудови очисних систем. Провідні виробники (Grimme, Rora, Holmer, Kleine) впроваджують модульні системи очищення, що складаються з універсальних секцій: секції транспортерного очищення; секції

гвинтового або спірального очищення; секції вальцьових блоків; секції остаточного делікатного очищення.

Модульність забезпечує: швидке переналаштування машини під різні типи ґрунтів і культур; спрощення обслуговування; можливість модернізації без заміни всієї машини.

Адаптивні та автоматизовані системи очищення

Інноваційні системи керування дозволяють в реальному часі змінювати: коливань очисних поверхонь; швидкість обертання валків і гвинтів; потужність повітряного потоку; швидкість транспортерів.

Сенсори контролю чистоти вороху та камери машинного зору забезпечують автоматичне налаштування режимів, оптимальних для поточних умов поля. Це дозволяє: підвищити ступінь очищення на 10–15%; знизити енерговитрати; мінімізувати втрати коренеплодів.

7. Проблеми та перспективи вдосконалення технологій очищення

Серед ключових проблем відзначають: зниження ефективності при високій вологості ґрунту; підвищення енергоємності при використанні кількох ступенів очищення; зношення робочих органів у контакті з абразивними домішками; зростання ризику пошкоджень при роботі з продукцією різної фракційності.

Перспективні напрями розвитку: Гідравлічні та електромеханічні адаптивні приводи, що забезпечують плавне регулювання параметрів. Інтеграція систем штучного інтелекту для оптимізації режимів залежно від структури вороху. Створення безконтактних очисників на основі спрямованих повітряних імпульсів. Використання біонічних конструкцій, що імітують природні форми, для делікатного очищення коренеплодів. Енергозберігаючі технології, спрямовані на зменшення маси та опору механізмів.

На підставі аналізу наукових праць та сучасних технічних рішень можна сформулювати такі ключові моменти: технології очищення вороху коренеплодів демонструють стійку тенденцію до комбінування робочих органів, оскільки це забезпечує найвищу ефективність; домінуючим напрямом

розвитку є адаптація систем до складних польових умов, зокрема вологості та злипання ґрунту; оптимальним рішенням для буряків, моркви та інших коренеплодів є багатоступеневі очисники, що поєднують транспортно-гвинтові, вальцьові та повітряні методи; підвищення енергетичної ефективності можливе через удосконалення конструкцій, застосування сучасних матеріалів та інтеграцію автоматизованих систем; актуальним є створення інтелектуальних систем очищення, здатних самостійно змінювати робочі режими на основі аналізу потоку вороху.

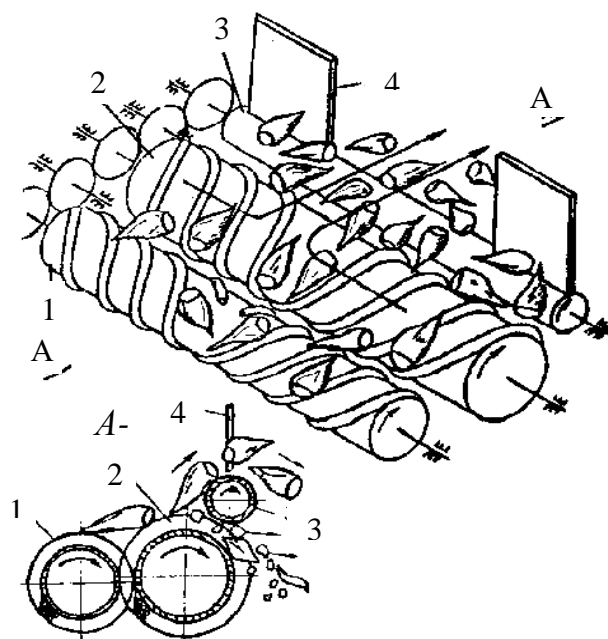


Рисунок 1.1 - коренеплодів шнековий очисник

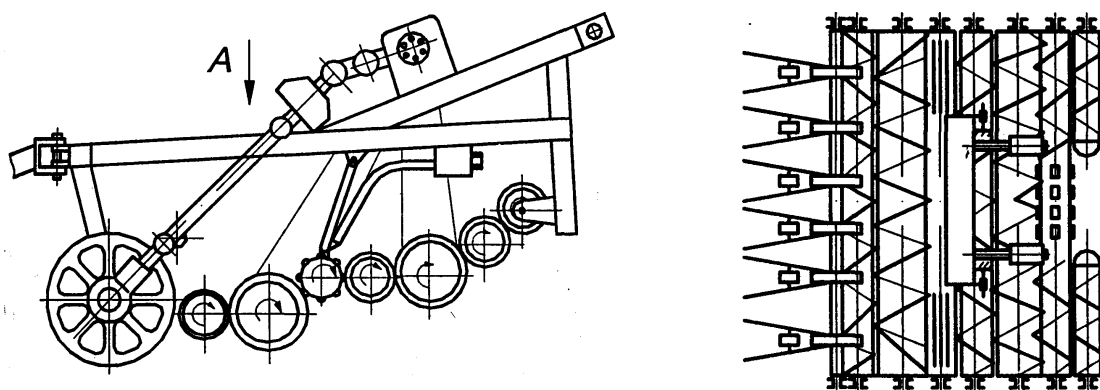


Рисунок 1.2 - КС-6Б



Рисунок 1.3 - “Garford Victor”

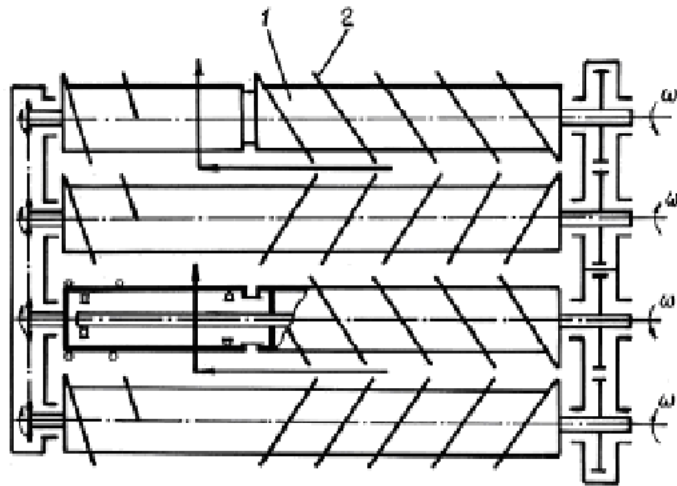


Рисунок 1.4 - Г-подібний шнековий очисник

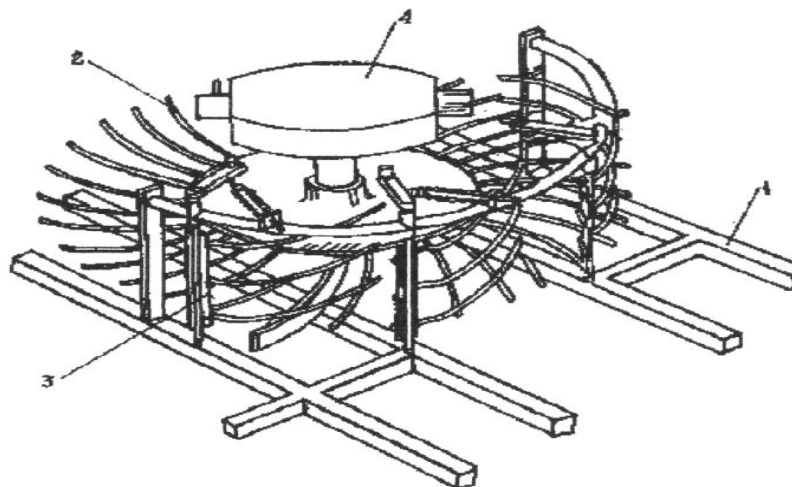


Рисунок 1.5 - Очисник однороторний

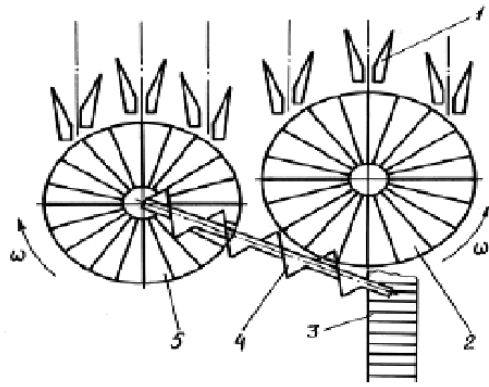


Рисунок 1.6 - Очисник роторний

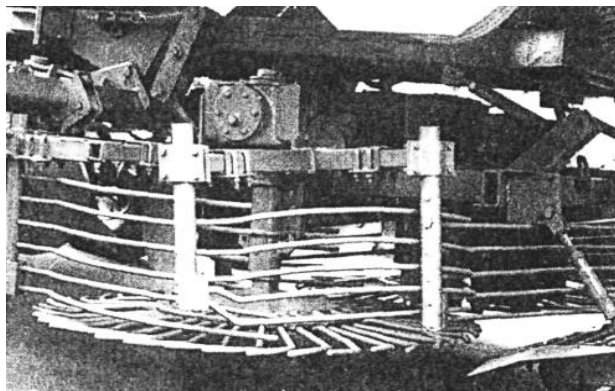


Рисунок 1.7 - Двороторний очисник з пасивними підкопувальними сферичними дисками

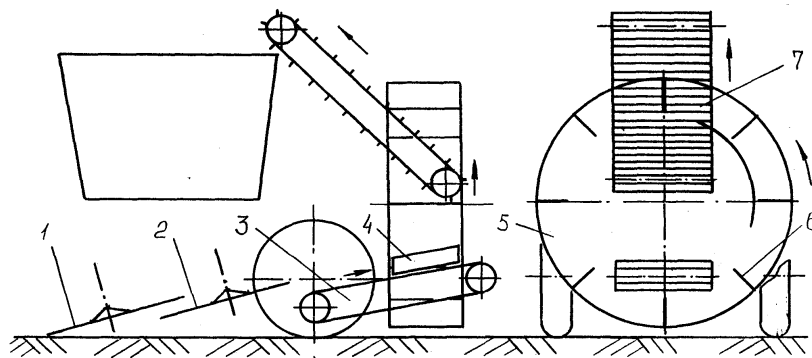


Рисунок 1.8 - "Тім" схема

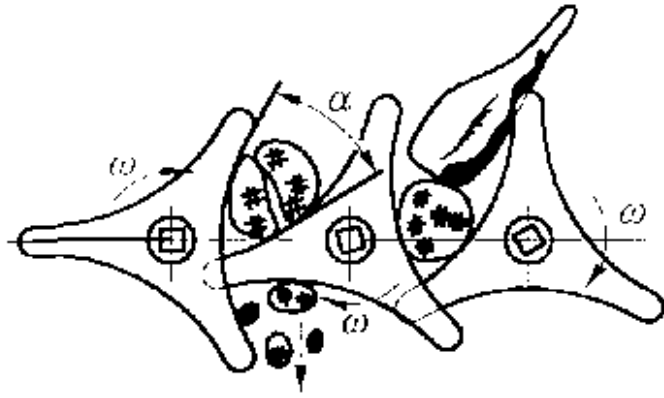


Рисунок 1.9 - Очисник трикулачковий

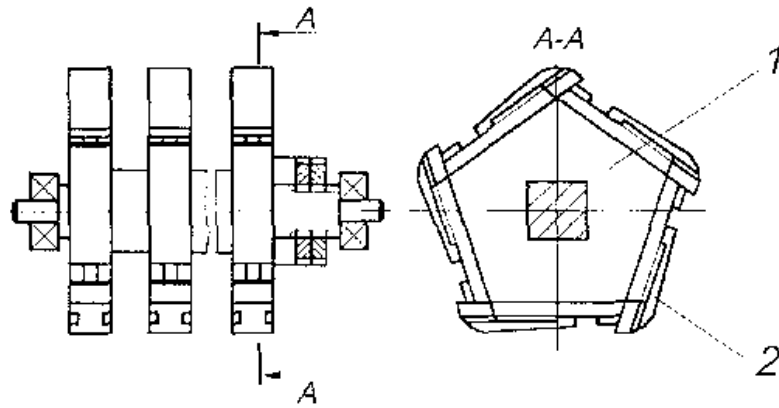


Рисунок 1.10 - Багатогранний кулачковий очисник

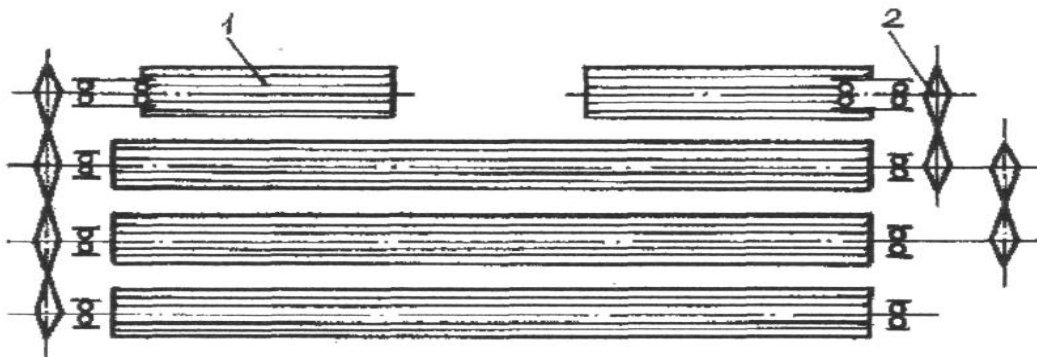


Рисунок 1.11 - Очисник бітерний

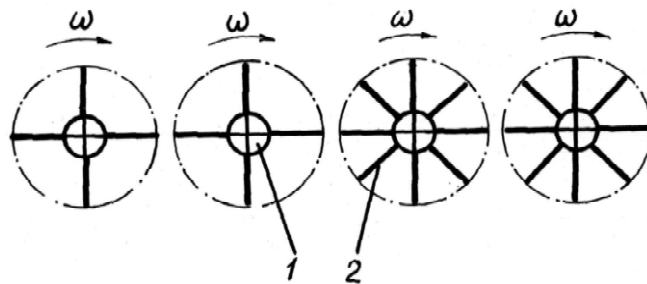


Рисунок 1.12 - Лопатевого очисника схема

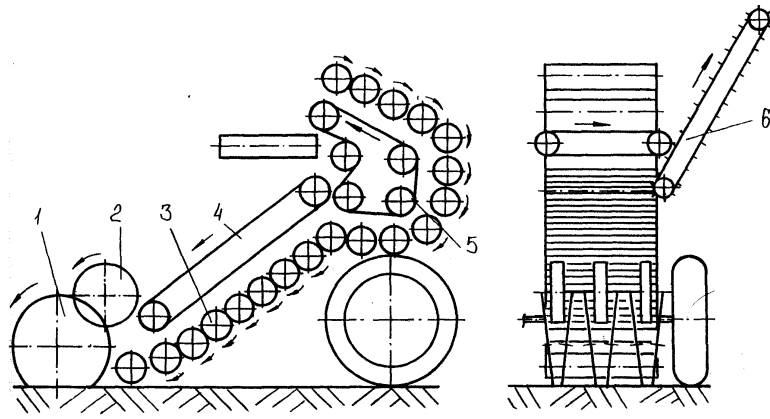


Рисунок 1.13 - “Juko” схема

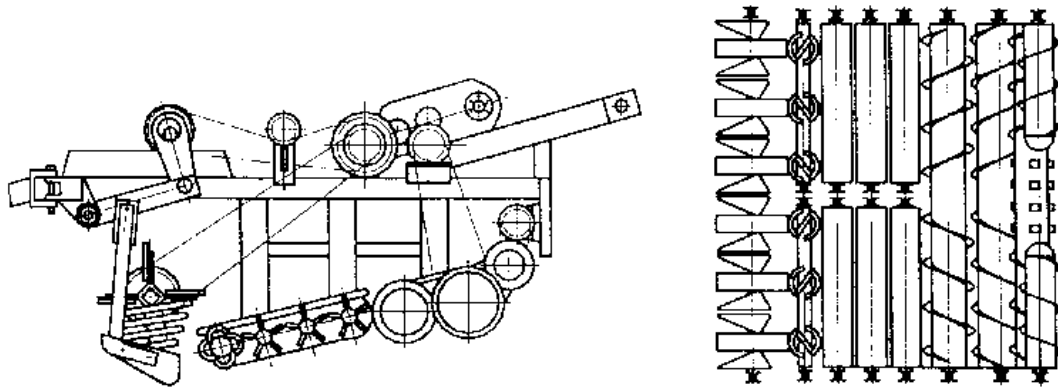


Рисунок 1.14 - Копача вібраційного схема

1.2 Пошуки аналітичні

Останні розробки переходять від одиночних механізмів до дво- або багатоступневих схем: перший етап - грубе відокремлення ґрунту й рослинних домішок (хвилеподібні решітки або вібраторні піддони), другий - роликові/гвинтові групи для тонкого очищення й сортування. Це підвищує ефективність очищення за збереження цілісності коренеплодів.

Роликові очисники з різними частотами обертання сусідніх роликів. Теоретичні й експериментальні роботи показали, що використання сусідніх роликів з різними швидкостями (фазовим зсувом) покращує розривно-тертя між ґрунтом і поверхнею коренеплоду та підвищує коефіцієнт очищення при

менших пошкодженнях. Це актуально для «сухого» очищення за умов слабого прилиплого ґрунту.

Вібраційні та аеро-інерційні очисники - стабілізація руху й зменшення вібрації. Дослідження модальних характеристик і реакцій техніки на вібрацію вказують: щоб зберегти якість очищення і знизити втрати через поломки/втомлення матеріалів, потрібні оптимальні режими збудження та демпфування (конструкційні/пружні підвіски очисників). Розв'язання задачі включає моделювання коливань і підбір амплітуд/частот.

Моделювання транспортних процесів і інтеграція очисників у технологічний комплекс. Публікації останніх років приділяють увагу не лише самому очиснику, а й його взаємодії з похилими/транспортними лініями, перезавантаженням і тимчасовими паузами в полі (вплив продуктивності на якість очищення). Математичні моделі дозволяють шукати компроміс між пропускнуою здатністю та якістю очистки.

Окремі роботи концентруються на простих, надійних і дешевих конструкціях (наприклад, локальні топпери, спрощені очисники) для малих господарств, де важлива ремонтоздатність і низькі експлуатаційні витрати.

Основні результати й практичні висновки. Комбінація хвильових (або ситоподібних) елементів і роликів блоків дає найкращий баланс «якість очищення - швидкість роботи» у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Регулювання відносних швидкостей сусідніх роликів підвищує ефективність видалення липких частинок ґрунту без суттєвого збільшення механічних пошкоджень.

Контроль вібрацій - важливий елемент підвищення надійності і якості очищення; робочі частоти та конструкційні демпфери мають підбиратися з урахуванням резонансних режимів машини.

Інтеграція очисника з ланцюгом транспортування коренеплодів (перекидні та накопичувальні вузли) дозволяє уникнути «перевантажень», які знижують ефективність очищення.

Адаптація під різні типи ґрунтів (глина/суглинок/пісок) - потрібні системні порівняльні польові тести з кількома конструкціями в реальних умовах (багато робіт із моделюванням, менше - масштабних польових випробувань).

Оптимізація параметрів в реальному часі - застосування сенсорики (вологість, ступінь забруднення) + керована зміна режимів роликів/вібрацій.

Зниження енергомосткості при збереженні якості очищення - пошук енергоефективних привідних схем і механічних передач.

Питання збереження якості коренеплодів при більш агресивному очищенні - необхідні стандартизовані методики оцінки пошкоджень.

Для інженерних розробок корисно поєднувати моделювання (динаміка, транспорт) з польовими випробуваннями: так швидше знаходяться робочі параметри.

Для виробників - розглянути варіанти модульних очисників (заміна блоків залежно від ґрунту) і можливість регулювання частот/амплітуд у роликівих вузлах.

Порівняння основних конструктивних підходів

Хвильові/ситоподібні решітки + роликові секції (комбіновані системи) — забезпечують покрокове відокремлення великих домішок (каміння, стебла) і тонке очищення (липкий ґрунт, грудки). Перевага - високий ступінь очищення при помірних швидкостях, недолік - складніший монтаж і чутливість до засмічення при великих грудках ґрунту.

Гвинтові (черепичні) очисники - компактні й добре підходять для модульних машин, дають рівномірну подачу і здатні «розбивати» грудки. Часті теми досліджень - геометрія витків, кут нахилу, швидкість обертання.

Роликові системи з регульованими швидкостями - використання різних обертів сусідніх роликів показує кращий контактний та зсувний ефект на поверхні коренеплоду, що полегшує відділення прилиплоґрунту без посилення механічних пошкоджень.

Вібраційні очисники (аеро-інерційні) - корисні при висушеному ґрунті; завдання - підбір амплітуд/частот і демпфування, щоб уникнути резонансних режимів і травмування коренеплодів.

Моделювання й чисельні методи - основні тренди

Дискретний елементний метод (DEM) - набуває популярності для моделювання контактів «ґрунт - бульба/коренеплід - робочий орган»; дозволяє вивчати вплив параметрів (фрикція, еластичність, розмір частинок) на процес очищення і втрати. Недолік - висока обчислювальна вартість для великих систем.

Моделі транспортного потоку (кінетика подачі, переповнення ліній) - застосовуються для оптимізації інтеграції очисника в технологічний комплекс (щоб уникнути «затримок»/перевантажень, які знижують якість очищення). Такі моделі покращують вибір буферних ємностей і частот приводів.

Застосування регресійних/емпіричних моделей для підбору геометричних параметрів гвинтових очисників - класичний підхід у вітчизняних дипломних та дисертаційних роботах.

Датчики вологості і ступеня забруднення встановлюють для адаптивного керування режимами (змінювати частоту вібрації/швидкості роликів).

Комп'ютерний зір та сортування - дослідження застосування AI для сортування і відбракування сильно пошкоджених або забруднених коренеплодів після первинного очищення; поки що більше уваги - бульбі (перспективно для великих підприємств).

Полеві випробування - методи оцінки якості очищення. Типові показники: відсоток залишкового забруднення (мас./об'єм), відсоток механічних пошкоджень (садна, розрізи), втрати (залишені в полі), продуктивність (т/год), енергоспоживання (кВт·год/т).

Важливі рекомендації: стандартизувати умови (вологість ґрунту, сорт коренеплоду, попередня підготовка поля) - багато робіт вказують на недостатню зіставність результатів через різні польові умови.

Є тренд на пошук ефективних приводів (змінна частота, електричні приводи на окремих секціях) для зниження питомого енергоспоживання при збереженні якості.

Дослідження інтегрують економічні розрахунки у фазі проєктування: модульність та простота обслуговування (важливі для малого господарства) зменшують загальні експлуатаційні витрати.

Вітчизняні конференційні матеріали та дипломні роботи (ТНТУ, ЦНТУ, НАУ) містять багато експериментальних результатів щодо гвинтових і роликкових очисників, адаптації до суглинкових ґрунтів України та локальних конструкцій. Ці роботи часто добре описують практичні проблеми (засмічення, ремонтоздатність) і дають регресійні залежності для підбору параметрів.

Нестача великих порівняльних польових досліджень різних конструкцій в однакових умовах.

Обмежена інтеграція сенсорики та автоматичного налаштування у масове виробництво очисників.

Недостатня увага до стандартизованих методів оцінки пошкоджень (потрібні загально прийняті протоколи для порівняння робіт різних авторів).

Висновки

Очищення вороху коренеплодів є складним багатоступеневим процесом, який потребує застосування різноманітних технологічних принципів. Незважаючи на значну кількість існуючих конструкцій, актуальною залишається потреба у вдосконаленні очисників шляхом комбінування робочих органів, підвищення адаптивності до умов поля та мінімізації пошкоджень продукції. Сучасні тенденції розвитку галузі спрямовані на ресурсозбереження, автоматизацію процесів та підвищення ефективності сепарації за складних ґрунтово-кліматичних умов.

Нами визначена мета роботи, що полягає у підвищенні ефективності очищення коренеплодів кормових буряків шляхом створення вдосконаленої

конструкції та визначення оптимальних параметрів роботи очисної системи, адаптованої до змінних польових умов і побудованої на принципі комбінованої дії транспортерно-гвинтового очисного модуля.

Для реалізації поставленої мети передбачено вирішення таких завдань:

- на основі ґрунтового аналізу процесів сепарації вороху науково обґрунтувати технологічну схему відокремлення домішок від коренеплодів та вдосконалити конструктивно-технологічну структуру очисного агрегата;

- створити математичну модель, що дозволяє передбачити кількість налиплого ґрунту на поверхні коренеплодів залежно від їхніх морфологічних та агробіологічних характеристик, а також фізико-механічного стану ґрунтового середовища;

- визначити ключові конструктивні та кінематичні параметри функціонування транспортерно-гвинтового очисника, використовуючи математичну модель, що описує залежність між подачею викопаного вороху робочими органами коренезбиральної машини та необхідною пропускною здатністю очисного апарата й продуктивністю гвинтового транспортера;

- виконати комплекс експериментальних досліджень для встановлення закономірностей зміни маси налиплого ґрунту на викопаних коренеплодах залежно від глибини їх розміщення у ґрунті та вологості орного шару;

- здійснити порівняльний аналіз роботи коренезбиральної машини, оснащеної транспортерно-гвинтовим очисником, з аналогічною базовою машиною з метою оцінювання ефективності застосованої технічної модернізації.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕБІГУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОРОХУ КОРЕНЕПЛІДНОЇ ПРОДУКЦІЇ

2.1 Розрахунок пропускної здатності комбінованого очисника вороху коренеплодів

Технологічна та експлуатаційна ефективність роботи будь-якого очисника коренезбиральної машини характеризується у першу чергу його функціональними показниками якості роботи та пропускною здатністю, або спроможністю транспортування викопаного вороху коренеплодів без “звантаження” на робочих поверхнях.

Для того, щоб транспортерно-гвинтовий очисник був спроможний перепустити через свої робочі поверхні задану масову кількість вороху необхідно, щоб його пропускна здатність за одиницю часу t була більшою або рівною відповідної подачі викопаного вороху, який надходить до нього з викопувальних робочих органів. За одиницю часу приймаємо час рівний 1 секунді, тобто $t = 1$ с, тоді

$$W_o \geq W_{n.в}, \quad (2.1)$$

де W_o - пропускна здатність очисника за 1 с, кг/с;

$W_{n.в}$ - подача вороху, який надходить до очисника за 1 с, кг/с.

У свою чергу, подачу вороху, який надходить до очисника, виразимо через подачу вороху, який безпосередньо викопується робочими органами з врахуванням тієї частини вороху, яка попередньо відсепарується на шляху його переміщення від викопувальних робочих органів до транспортерно-гвинтового очисника, тобто враховуючи при цьому відповідний загальний коефіцієнт сепарації вороху

$$W_{n.в} = W_в \eta_c, \quad (2.2)$$

де W_g - подача вороху, який безпосередньо викопується робочими органами коренезбиральної машини за 1 с, кг/с;

η_c - загальний коефіцієнт сепарації вороху.

Сепарація відбувається на викопувальних і розташованих за ними транспортно-сепаруючих робочих органах коренезбиральної машини (відповідно до її наявної конструктивної схеми). Крім того, частина вороху також сепарується на подавальному транспортері безпосередньо самого транспортерно-гвинтового очисника.

Тоді загальний коефіцієнт сепарації вороху η_c виразимо через коефіцієнти сепарації, відповідно, викопувальних $\eta_{p.o}$, транспортно-сепаруючих $\eta_{m.c}$ робочих органів коренезбиральної машини і безпосередньо коефіцієнта сепарації подавального транспортера η_{mp} очисника, тобто

$$\eta_c = \eta_{p.o} \eta_{m.c} \eta_{mp}. \quad (2.3)$$

При формалізації опису процесу викопування коренеплодів, тобто визнання подачі вороху W_g , який безпосередньо викопується викопувальними робочими органами коренезбиральної машини, приймаємо такі припущення:

- основним викопувальним робочим органом, який застосовується для збирання кормових буряків є пасивний односторонній сферичний диск, встановлений під кутом атаки по відношенню до напрямку руху машини;

- коренеплід має форму, при формалізації опису якої були накладені певні припущення, що наведені в розділі 2.1 згідно рис. 2.1;

- на всьому шляху коренезбиральна машина рухається прямолінійно, а глибина ходу сферичного диска постійна;

- коренеплоди у рядку розташовані рівномірно і їх кількість на 1 погонному метрі кожного рядка однакова, а агрофізичні параметри мають середні розміри, тобто загальна довжина, діаметр головки коренеплодів дорівнюють середнім розмірам кормових буряків середньої урожайності;

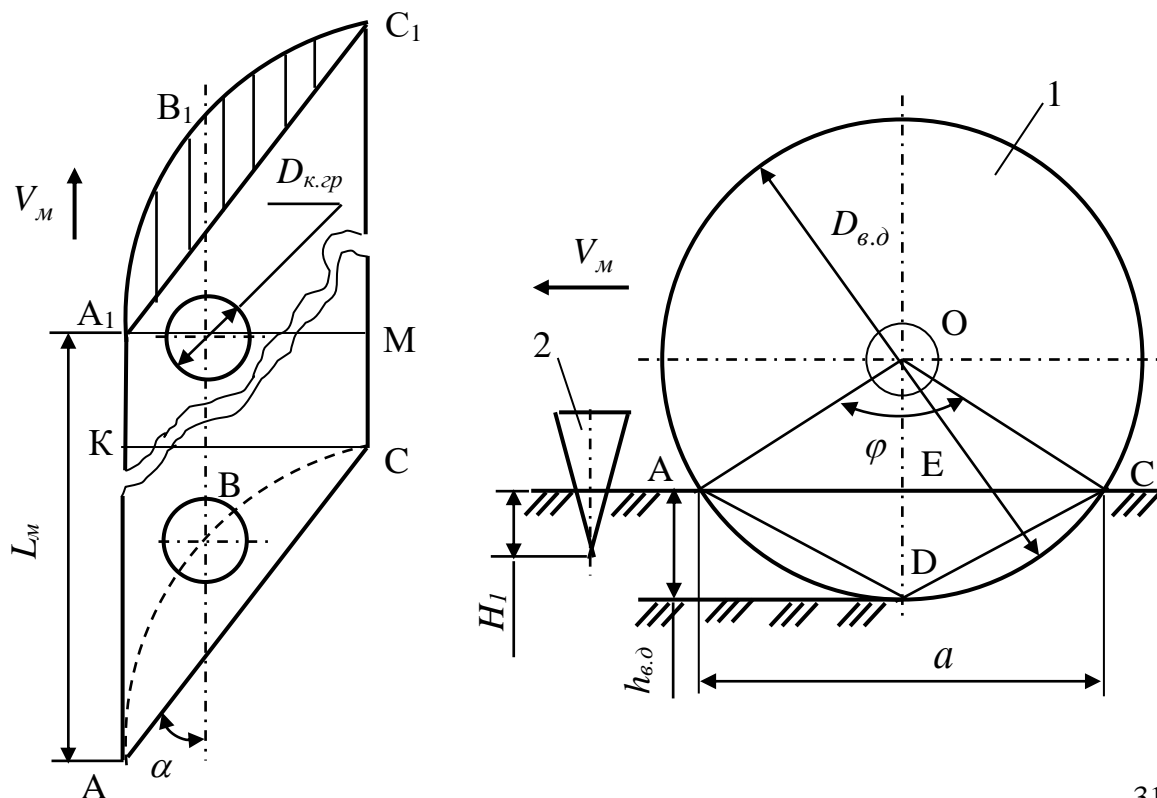
- у складі викопаного вороху відсутні іногородці тіла.

У процесі руху коренезбиральної машини з поступальною робочою швидкістю V_M за одиницю часу t сферичний диск 1, глибина ходу якого $h_{e,\delta}$, проходить шлях L_M , числове значення якого дорівнює $V_M t$ і вирізає у ґрунті канавку, яка утворена контуром фігури $ABCA_1B_1C_1$ і в межах якої знаходиться викопаний диском ворох коренеплодів, тобто ґрунт, коренеплоди і рослинні домішки. Тоді подача вороху W_e , який безпосередньо викопується викопувальними робочими органами коренезбиральної машини за одиницю часу становить

$$W_e = W_{zp} + W_k + W_{p,\delta}, \quad (2.4)$$

де W_{zp} , W_k , $W_{p,\delta}$ - відповідно подача ґрунту, коренеплодів і рослинних домішок, які викопуються сферичними дисками за одиницю часу, кг/с.

У нашому випадку, відповідні подачі ґрунту, коренеплодів і рослинних домішок, які викопуються сферичними дисками за час $t = 1$ с, будуть не що інше, як відповідні секундні подачі маси ґрунту M_{zp} (кг/с), коренеплодів M_k (кг/с) і рослинних домішок $M_{p,\delta}$ (кг/с), які викопуються сферичними дисками



за час $t = 1$ с, тобто справедлива рівність

$$W_{\epsilon} = W_{zp} + W_k + W_{p.d} = M_{zp} + M_k + M_{p.d}. \quad (2.4')$$

Рисунок 2.1 – зображення схематичне

Маса ґрунту, який викопується сферичними дисками за одиницю часу дорівнює

$$M_{zp} = V_{\epsilon.zp} \rho_{zp} n, \quad (2.5)$$

де $V_{\epsilon.zp}$ - об'єм ґрунту, який викопується одним сферичним диском за одиницю часу, м³/с;

ρ_{zp} - питома маса ґрунту, кг/м³;

n - кількість рядків, які одночасно викопуються дисками, шт.

Для визначення об'єму ґрунту $V_{\epsilon.zp}$, який викопується одним сферичним диском, розглянемо складену розрахункову схему рис. 2.1.

Загальний об'єм фігури $ABCA_1B_1C_1$, або загальний об'єм вороху складається з об'єму ґрунту $V_{\epsilon.zp}$ та об'єму підземної частини $V_{\epsilon.k}$ викопаних коренеплодів 2. Позначимо об'єм фігури $ABCA_1B_1C_1$ через V_z , тоді об'єм ґрунту, що буде викопуватися одним сферичним диском за одиницю часу становить

$$V_{\epsilon.zp} = V_z - V_{\epsilon.k}, \quad (2.6)$$

де V_z , - загальний об'єм вороху, який викопуються одним сферичним диском за одиницю часу, м³/с;

$V_{\epsilon.k}$ - об'єм підземної частини викопаних коренеплодів одним диском за одиницю часу, м³/с.

Загальний об'єм V_z фігури $ABCA_1B_1C_1$, який викопується одним диском за одиницю часу визначається за формулою

$$V_z = F_z L_M, \quad (2.7)$$

де F_z - площа поперечного перерізу фігури $ABCA_1B_1C_1$, м²;

L_m - довжина шляху, який проходить машина за 1 с, м/с.

В нашому випадку, числове значення довжини шляху L_m , який проходить коренезбиральна машина за 1 с, відповідно дорівнює поступальній робочій швидкості руху коренезбиральної машини V_m , тобто справедлива тотожність (рівність) $L_k \cong V_m$. Тоді, з врахуванням вищевикладеного, залежність (2.7) має вигляд

$$V_3 = F_3 V_m. \quad (2.8)$$

Площа поперечного перерізу F_3 фігури $ABCA_1B_1C_1$ є не що інше, як площа поперечного перерізу сегмента $AEDC$, який утворений дугою ACD кола сферичного диска діаметром $D_{e,d}$, що стягується хордою AC , довжину якої позначимо через a .

Площа поперечного перерізу F_3 і довжина хорди a дорівнюють

$$F_3 = 0,5 R_{e,d}^2 [(\pi\alpha / 180) - \sin \alpha]; \quad (2.9)$$

$$a = 2R_{e,d} \sin(\varphi / 2), \quad (2.10)$$

де $R_{e,d}$ - радіус сферичного диска, м;

φ - центральний кут, град.;

a - довжина хорда, м.

Виразивши

$$\sin \varphi / 2 = \sqrt{\frac{1 - \cos \varphi}{2}} \quad (2.10')$$

та визначивши центральний кут $\varphi = \arccos(1 - \frac{a^2}{2R_{e,d}^2})$ із (2. 10') і довжину

хорди $a = 2\sqrt{h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})}$ та підставивши ці значення у рівняння отримаємо залежність для визначення площі поперечного перерізу F_3

$$F_3 = 0,125D_{\epsilon,\delta}^2 \left\{ \begin{array}{l} \left[\pi \arccos \left(1 - \frac{8h_{\epsilon,\delta}(D_{\epsilon,\delta} - h_{\epsilon,\delta})}{D_{\epsilon,\delta}^2} \right) \right] / 180 - \\ - \sin \left[\arccos \left(1 - \frac{8h_{\epsilon,\delta}(D_{\epsilon,\delta} - h_{\epsilon,\delta})}{D_{\epsilon,\delta}^2} \right) \right] \end{array} \right\}, \quad (2.11)$$

де $D_{\epsilon,\delta}$ - діаметр сферичного диска, м;

$h_{\epsilon,\delta}$ - глибина ходу сферичного диска, м.

Підставивши значення виразу визначимо загальний об'єм вороху коренеплодів кормових буряків V_3 , який викопується одним викопувальним сферичним диском за одиницю часу

$$V_3 = 0,125V_M D_{\epsilon,\delta}^2 \left\{ \begin{array}{l} \left[\pi \arccos \left(1 - \frac{8h_{\epsilon,\delta}(D_{\epsilon,\delta} - h_{\epsilon,\delta})}{D_{\epsilon,\delta}^2} \right) \right] / 180 - \\ - \sin \left[\arccos \left(1 - \frac{8h_{\epsilon,\delta}(D_{\epsilon,\delta} - h_{\epsilon,\delta})}{D_{\epsilon,\delta}^2} \right) \right] \end{array} \right\}. \quad (2.12)$$

Об'єм підземної частини викопаних коренеплодів $V_{\epsilon,k}$ одним диском за одиницю часу залежить від загальної кількості коренеплодів j на одному погонному метрі рядка, їх розмірно-масових характеристик, глибини залягання коренеплодів у ґрунті відносно рівня поля H_1 та швидкості руху коренезбиральної машини V_M .

У загальному випадку об'єм підземної частини V_k (м³) одного коренеплоду дорівнює $V_k = \frac{\pi D_{k,zp}^2 H_1}{12}$, де $D_{k,zp}$ - коренеплоду діаметр, м; H_1 - глибина,

м, або - $V_{H_1} = \frac{\pi r_{kH}^2 H_1}{3}$, де r_{kH}^2 - радіус основи підземної частини конуса

коренеплоду, м. Але у нашому випадку $D_{k,zp}$ і радіус основи r_{kH}^2 підземної частини конуса коренеплоду є відносно "невизначеною" величиною і оперувати нею в подальших розрахунках буде складно. Тому, для визначення V_k

скористаємося залежністю, яка у своїй основі ідентична наведеним

залежностям $V_k = \frac{\pi D_{к.зр}^2 H_1}{12}$ і $V_{H_1} = \frac{\pi r_{кH}^2 H_1}{3}$, тобто

$$V_k = V_{H_1} = \frac{\pi D_{к.зр}^2 H_1}{12} = \frac{\pi r_{кH}^2 H_1}{3} = \frac{\pi D_k^2 H_1^3}{(L_k - 0,5D_k)^2}. \quad (2.13)$$

Тоді об'єм підземної частини викопаних коренеплодів $V_{в.к}$ з одного рядка (одним диском) за одиницю часу дорівнює

$$V_{в.к} = V_k J_k = V_k j c = \frac{\pi D_k^2 H_1^3}{(L_k - 0,5D_k)^2} j c, \quad (2.14)$$

де J_k - кількість коренеплодів, які викопуються з одного рядка за 1 с, шт./с;

j - кількість коренеплодів на 1 погонному метрі рядка, шт.;

c - кількість погонних метрів, які проходить машина за 1 с, од./с.

У нашому випадку, числове значення кількості погонних метрів c , які проходить машина за 1 с, відповідно, дорівнює довжині шляху L_m , який проходить машина за 1 с. Але, у свою чергу, числове значення довжина шляху L_m , який проходить машина за 1 с, відповідно дорівнює швидкості руху машини V_m , тобто справедлива тотожність $c \cong L_m \cong V_m$, загальною розмірністю одиниць вимірювання складових величин якої буде відношення безрозмірної величини до часу рівного 1 с, або 1/с.

З врахуванням викладеного

$$V_{в.к} = \frac{\pi D_k^2 H_1^3}{(L_k - 0,5D_k)^2} j V_m. \quad (2.15)$$

Тоді, математична залежність для визначення маси ґрунту $M_{зр}$, який викопується сферичними дисками за час 1 с має вигляд

$$M_{zp}^* = 0,125V_m \rho_{zp} n \left\{ D_{e,d}^2 \left[\begin{array}{l} \pi \arccos \left(1 - \frac{8h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})}{D_{e,d}^2} \right) / 180 - \\ - \operatorname{sinarccos} \left(1 - \frac{8h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})}{D_{e,d}^2} \right) \end{array} \right] - \frac{\pi D_k^2 L_k^3 k_{H1Lk}^3}{8(L_k - 0,5D_k)^2} j \right\},$$

* - порядковий номер формули (2.16).

Маса M_k коренеплодів 2, які викопуються сферичними дисками за одиницю часу t , залежить від урожайності коренеплодів Q_k , кількості рядків n , які одночасно викопуються дисками і робочої швидкості руху машини V_m . Урожайність коренеплодів визначається у першу чергу їх розмірно-масовими характеристиками та густотою насаджень, або загальною кількістю коренеплодів на одному погонному метрі рядка j .

Тоді, маса коренеплодів M_k , яка викопується сферичними дисками за одиницю часу дорівнює

$$M_k = M_{k1} n, \quad (2.17)$$

де M_{k1} - маса коренеплодів, яка викопується одним сферичним диском з одного рядка за 1 с, кг/с.

Маса коренеплодів M_{k1} , яка викопується одним сферичним диском з одного рядка за одиницю часу, із врахуванням положень і тверджень, які викладені при аналізі об'єму підземної частини коренеплодів, становить

$$M_{k1} = m_k J_k = m_k j c = m_k j V_i, \quad (2.18)$$

де m_k - середня маса одного коренеплоду, кг.

Підставивши значення m_k отримаємо залежність для визначення маси коренеплодів M_k , яка викопується сферичними дисками за 1 с

$$M_k = \rho_k \left(\frac{\pi D_k^2}{12} H_k + \frac{\pi D_k^3}{12} \right) j V_i n. \quad (2.19)$$

Загальна маса рослинних домішок $M_{p,d}$, яка викопується сферичними

дисками за одиницю часу складається з маси залишків гички $M_{3,2}$ (кг/с)

$$M_{p,d} = M_{3,2} + M_2 + M_6. \quad (2.20)$$

Втраченої гички M_2 і маси бур'янів, які викопуються сферичними дисками за одиницю часу визначаються

$$M_{3,2} = 0,08U_2 S_3 n; \quad M_2 = 0,1U_2 S_3 n; \quad M_6 = 0,1S_3 n, \quad (2.21)$$

де U_2 , кг/м²;

S_3 - за одиницю часу руху коренезбиральної машини, м²/с.

Площа S_3 фігури AA_1CC_1 дорівнює

$$S_3 = 2S_{\Delta AKC} + S_{A_1MCK}, \quad (2.22)$$

Підставивши значення отримаємо залежність для визначення загальної маси рослинних домішок $M_{p,d}$, які викопуються сферичними дисками за 1 с

$$M_{p,d} = 2V_m n \sqrt{h_{e,d} (D_{e,d} - h_{e,d})} \cdot (0,18U_2 + 0,1) \sin \alpha, \quad (2.23)$$

де α - кут встановлення сферичного диска відносно напрямку руху коренезбиральної машини, град.

Таким чином, залежність для визначення подачі вороху W_6 , який безпосередньо викопується сферичними дисками за час руху коренезбиральної машини $t = 1$ с має вигляд

$$W_6 = V_m n \left\{ \rho_{2p} \left[0,125D_{e,d}^2 \left[\pi \arccos \left(1 - \frac{8h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})}{D_{e,d}^2} \right) / 180 - \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. - \sin \arccos \left(1 - \frac{8h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})}{D_{e,d}^2} \right) \right] - \right. \\ \left. \left. - jk_{H1Lk}^3 \frac{\pi D_k^2 L_k^3}{(L_k - 0,5D_k)^2} \right] + \right. \\ \left. + j\rho_k (L_k + 0,5D_k) \frac{\pi D_k^2}{12} + 2(0,18U_2 + 0,1) \sqrt{h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})} \sin \alpha \right\}. \quad (2.24)$$

Для зручності користування залежністю (2.24) введемо позначення складових величин

$$X_1 = \pi \arccos\left(1 - \frac{8h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})}{D_{e,d}^2}\right) / 180 - \operatorname{sinarccos}\left(1 - \frac{8h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})}{D_{e,d}^2}\right);$$

$$X_2 = \frac{\pi D_k^2 L_k^3}{(L_k - 0,5D_k)^2};$$

$$X_3 = (L_k + 0,5D_k) \frac{\pi D_k^2}{12}; \quad X_4 = (0,18U_z + 0,1) \sqrt{h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})} \sin \alpha. \quad (2.25)$$

Тоді залежність (2.24) має вигляд

$$W_e = V_m n \left[\rho_{zp} \left(0,125D_{e,d}^2 X_1 - jk_{H_1 L_k}^3 X_2 \right) + j\rho_k X_3 + 2X_4 \right]. \quad (2.26)$$

Таким чином, умова функціональності роботи очисника згідно рівнянь має вигляд

$$W_o \geq V_m n \left\{ \eta_c \left[\rho_{zp} \left(0,125D_{e,d}^2 X_1 - jk_{H_1 L_k}^3 X_2 \right) + 2X_4 \right] + j\rho_k X_3 \right\}, \quad (2.27)$$

$$W_o \geq V_m n \left\{ \rho_{zp} \eta_c \left\{ 0,125D_{e,d}^2 \left[\begin{array}{l} \pi \arccos\left(1 - \frac{8h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})}{D_{e,d}^2}\right) / 180 - \\ - \operatorname{sinarccos}\left(1 - \frac{8h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})}{D_{e,d}^2}\right) \end{array} \right] - \right. \right. \\ \left. \left. - jk_{H_1 L_k}^3 \frac{\pi D_k^2 L_k^3}{(L_k - 0,5D_k)^2} \right\} + \right. \\ \left. + j\rho_k (L_k + 0,5D_k) \frac{\pi D_k^2}{12} + 2\eta_c (0,18U_z + 0,1) \sqrt{h_{e,d}(D_{e,d} - h_{e,d})} \sin \alpha \right\}. \quad (2.27')$$

Отримані теоретичні залежності (2.27), (2.27') є розрахунковими математичними моделями, які характеризують необхідну пропускну здатність очисника W_o у залежності від умов і швидкості руху коренезбиральної машини та агробіологічних характеристик коренеплодів і лінійних параметрів викопувального робочого органу.

Отримані теоретичні залежності вирішимо числовим методом з використанням прикладної комп'ютерної програми „MathCad 7.0”.

На рис. 2.2 наведено залежності необхідної розрахункової пропускної здатності очисника W_o від зміни поступальної швидкості руху машини V_m , які побудовані згідно рівняння (2.27), при цьому $\rho_{zp} = 1300 \text{ кг/м}^3$ [5]; $D_{в.д} = 0,45 \text{ м}$, $h_{в.д} = 0,07 \text{ м}$, $\alpha = 30^0$ [25]; $D_k = 0,15 \text{ м}$, $L_k = 0,25 \text{ м}$, $j = 5 \text{ шт./п.м}$, $U_2 = 6 \text{ кг/м}^2$, $k_{H1Lk} = 0,3$ [1, 6, 19], $\rho_k = 600 \text{ кг/м}^2$ [26].

Аналіз залежностей, показує, що необхідна пропускна здатність очисника W_o повинна змінюватися згідно лінійної функції, відповідно зростати

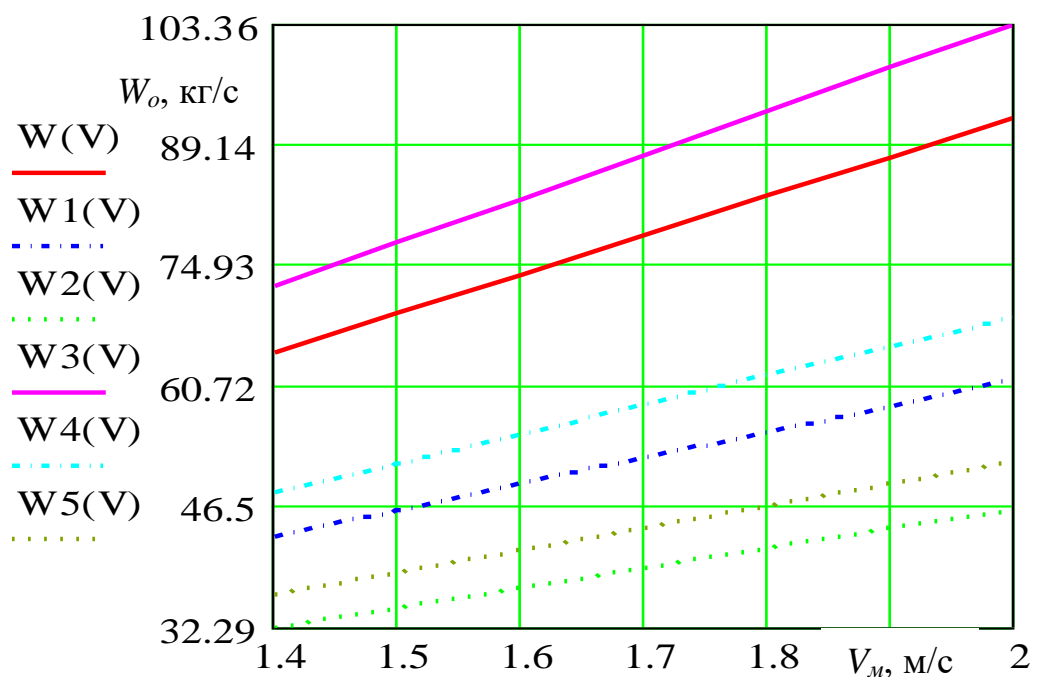


Рисунок 2.2 - Залежності пропускної здатності очисника W_o від швидкості руху коренезбиральної машини V_m :

$W(V)$, $W1(V)$, $W2(V)$ – відповідно для $n = 6, 4, 3$ рядків при $\eta_c = 0,5$;

$W3(V)$, $W4(V)$, $W5(V)$ – відповідно для $n = 6, 4, 3$ рядків при $\eta_c = 0,7$ прямопропорційно збільшенню робочої швидкості руху машини V_m та кількості рядків коренеплодів n , які збираються одночасно.

Таким чином, при робочій швидкості руху машини $V_m = 1,6...2,0 \text{ м/с}$, яка регламентована вихідними вимогами до коренезбиральних машин, необхідна

пропускна здатність транспортерно-гвинтового очисника повинна знаходитися у межах: $W_o = 36,9...46,5; 49,1...61,4$ і $73,9...92,3$ (кг/с), відповідно, при одночасному збиранні 3, 4 і 6 рядків кормових буряків і загального коефіцієнта сепарації викопаного вороху на шляху його переміщення до очисника $\eta_c = 0,5$. При значенні коефіцієнта $\eta_c = 0,7$, відповідно при збиранні 3, 4 і 6 рядків кормових буряків необхідна пропускна здатність транспортерно-гвинтового очисника повинна знаходитися у межах: $W_o = 41,3...51,7; 55,0...68,8$ і $82,7...103,4$ (кг/с).

Ці твердження справедливі при умові коли $V_m = const$, $h_{e,d} = const$, $U_z = const$. Насправді подача вороху $W_{e,n}$ і відповідно пропускна здатність очисника W_o буде коливатися у певних межах внаслідок нерівномірної швидкості руху коренезбиральної машини V_m , непостійної глибини ходу викопуючого диска $h_{e,d}$, урожайності гички U_z та коренеплодів, тобто їх неоднакових лінійних характеристик – діаметра D_k , довжини L_k коренеплодів, коефіцієнта співвідношення $k_{H_1 L_k}$ глибини залягання коренеплодів у ґрунті та непостійного значення загального коефіцієнта сепарації вороху η_c .

2.2 Визначення основних параметрів комбінованого очисника

Ключові показники якості функціонування та експлуатаційної ефективності очисних робочих органів визначаються величинами їх базових конструктивно-кінематичних параметрів, тобто характеристиками транспортерно-гвинтового очисника вороху коренеплодів кормових буряків. Для встановлення раціональних параметрів роботи очисного агрегату розглянемо його узагальнену розрахунково-технологічну схему, подану на рис. 2.3.

Потік вороху коренеплодів надходить до гвинтової секції транспортером 1 зі швидкістю $V_{тр}$ у кількості W_o . Далі матеріал потрапляє на гвинтовий конвеєр 2, який функціонує з кутовою швидкістю $\omega_{гв}$. У робочій зоні, що

формується витками 3 та очисними елементами 4, відбувається інтенсивний контакт вороху з гвинтовою поверхнею, внаслідок чого реалізується основний процес видалення домішок і первинного очищення коренеплодів.

Під час формалізації технологічного процесу роботи очисного пристрою та встановлення його ключових параметрів приймемо низку обмежень і допущень. Вважатимемо, що ворох коренеплодів заповнює лише половину робочого об'єму гвинтового конвеєра - простір АОВС; подача матеріалу до гвинтової секції є сталою в часі ($W_0 = \text{const}$); вплив осевого зворотного переміщення коренеплодів, спричиненого дією пружних очисних елементів, є незначним і не враховується.

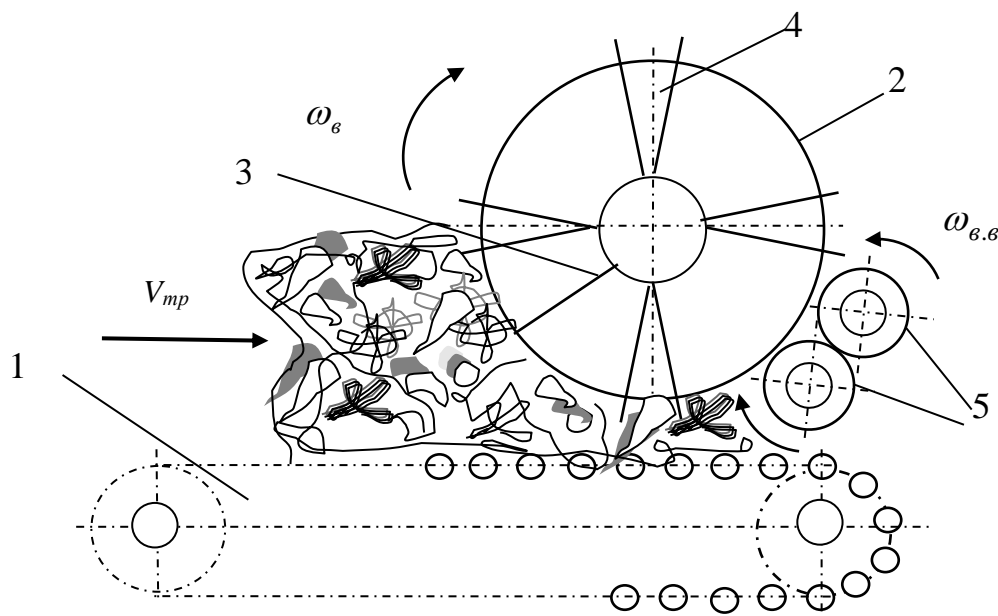


Рисунок 2.3 - Очисника схема

З рисунка 2.3 видно, що до основних параметрів очисника належать конструктивно-кіне-матичні характеристики подавального транспортера 1, гвинтового конвеєра 2 та відминальних вальців 5.

Конструктивні параметри горизонтального транспортера 1 визначаються компоновкою коренезбиральної машини та її конструктивними обмеженнями. Швидкість руху його робочої гілки $V_{тр}$ задається з урахуванням вимоги недопущення різкого «звантаження» вороху під час переходу від попередніх транспортуючих органів.

Встановлено, що збільшення лінійної швидкості пруткового транспортера понад $V_{п.тр} > 1,6$ м/с не призводить до помітного зростання інтенсивності відокремлення ґрунтових домішок. Отже, підвищення $V_{тр}$ понад цю межу є недоцільним. Додатково слід враховувати обмеження щодо величини сумарної результуючої швидкості співудару $V_{с.р}$ коренеплодів із гвинтовою поверхнею. Згідно з даними, ця швидкість не повинна перевищувати 3,1 м/с, оскільки за більш високих значень рівень пошкоджень коренеплодів зростатиме понад допустимі межі, встановлені нормативними вимогами.

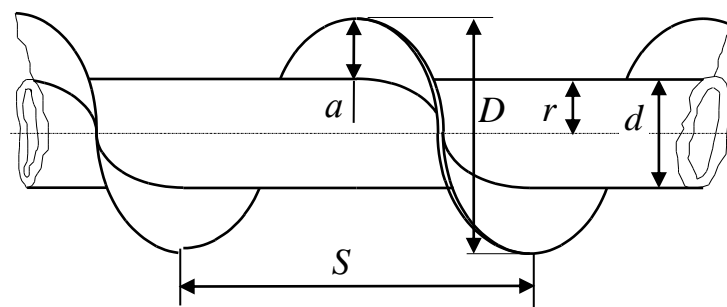


Рисунок 2.4. Гвинта параметри

Основні конструктивно-кінематичні характеристики гвинтового конвеєра (рис. 2.4) включають діаметр D , крок S , висоту витка a , кількість заходів z , а також кутову швидкість обертання $\omega_{(гв)}$. Додатково враховуються робоча довжина $L_{о.е}$ та діаметр пружних очисних елементів $d_{о.е}$.

Під час вибору параметрів гвинтових транспортуючих систем вихідними є дані про їхню продуктивність, яка визначається передусім величиною кутової швидкості обертання гвинта $\omega_{(гв)}$. Значення $\omega_{(гв)}$ підбирають так, щоб забезпечити розрахункову пропускну здатність та водночас уникнути пошкодження коренеплодів.

Отже, визначення ключових конструктивно-кінематичних параметрів гвинта здійснюється, виходячи з необхідної пропускну здатності W_o або продуктивності комбінованого транспортерно-гвинтового очисника, яка фактично обмежується можливостями гвинтового конвеєра.

$$Q_k \geq W_o, \quad (2.28)$$

де Q_k , кг/с.

$$Q_k = \gamma_e F_n \vartheta_n, \quad (2.29)$$

де γ_e , кг/ м³;

F_n , м²;

ϑ_n , м/с.

$$Q_k = 0,25\pi e \vartheta_o k_{\vartheta_o} \gamma_e (D^2 - d^2), \quad (2.30)$$

де D , м;

d , м;

ϑ_o , м/с;

k_{ϑ_o} - коеф..

$$\vartheta_o = S \omega_{\vartheta} / 2\pi, \quad (2.31)$$

де S , м;

ω_{ϑ} , рад/с.

Під час проектування гвинтових транспоруючих механізмів крок гвинтової лінії S та кут її піднімання β для шнекових робочих органів добирають так, щоб забезпечити найбільшу можливу осьову швидкість V_o руху матеріалу вздовж витків гвинта та гарантовану технологічну продуктивність агрегату. У загальному випадку ці параметри визначають за аналітичними залежностями.

$$S = \pi D \operatorname{tg} \beta, \quad (2.32)$$

$$\beta = 45^\circ - \frac{\varphi_k}{2}, \quad (2.33)$$

де φ_k , град.;

β , град.

Згідно з результатами досліджень, встановлено, що кут ковзного тертя коренеплоду по металевій поверхні гвинтового робочого органа у системі «коренеплід – залізо» становить $35,2^\circ$. З урахуванням залежності (2.33) це відповідає куту піднімання гвинтової лінії $\beta = 27,4^\circ$.

Проведені числові розрахунки показали, що за умови зміни необхідної пропускної здатності очисного пристрою $\mu = 60 \dots 80$ кг/с (що відповідає зміні продуктивності гвинта Q_k) залежно від швидкості руху агрегату $V_m = 1,6 \dots 2,0$ м/с, оптимальний діаметр гвинта має перебувати в межах $D = 0,35 \dots 0,45$ м. За більшої пропускної здатності $\mu = 80 \dots 100$ кг/с значення діаметра повинно становити $D = 0,55 \dots 0,60$ м.

При цьому приймалося, що коефіцієнт заповнення гвинтового каналу $e = 0,5$ відповідно до попередніх припущень. Питома маса переміщуваного вороху γ_v визначалась як середнє з питомих мас основних його компонентів: ґрунту ($\rho_{gr} = 1300$ кг/м³) [5] та коренеплідів ($\rho_k = 600$ кг/м³), у результаті чого $\gamma_v = 0,5(\rho_{gr} + \rho_k) = 950$ кг/м³.

Кутова швидкість гвинта $\omega_{(гв)}$ приймалась рівною середньому значенню, рекомендованому в роботі, а саме 10 рад/с. Значення коефіцієнта ϕ , що враховує зменшення фактичної осьової швидкості переміщення вороху відносно теоретичної, встановлювали $\phi = 0,7$, оскільки при $\omega_{(гв)} = 10$ рад/с, гвинтовий конвеєр працює у тихохідному режимі. Діаметр трубчастої основи гвинта (барабана) визначали рівним $d = 0,1$ м, виходячи з конструктивних вимог і рекомендацій.

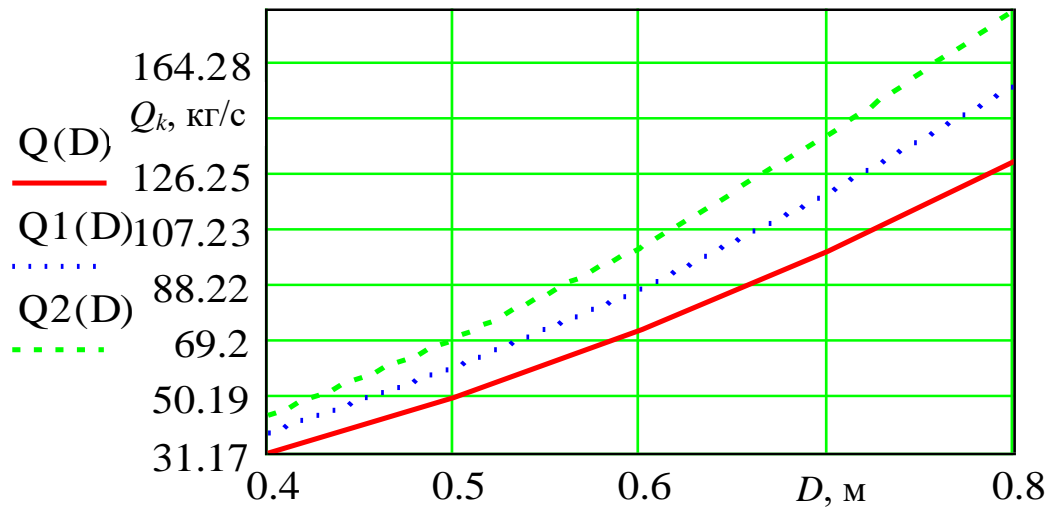


Рисунок. 2.5 - Гвинта продуктивність

$$\omega_{zg} = \frac{W_o}{0,125\pi D e k_{g_0} \gamma_v (D^2 - d^2) \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\phi_k}{2}\right)}. \quad (2.34)$$

У процесі числового розв'язання залежності (2.34) встановлено, що розрахункова пропускна здатність очисного пристрою $\mu = 80 \dots 100$ кг/с може бути досягнута за умови, що кутова швидкість обертання гвинта становитиме $\omega_{(гв)} = 8,5 \dots 10,5$ рад/с. При цьому діаметр гвинта приймався $D = 0,6$ м, а решта параметрів відповідали раніше визначеним значенням: коефіцієнту заповнення $e = 0,5$, об'ємній масі вороху $\gamma_v = 950$ кг/м³, коефіцієнту $\phi = 0,7$ та діаметру трубчастої основи гвинта $d = 0,1$ м. Аналітична залежність, що описує зміну продуктивності гвинта Q_k у функції від кутової швидкості його обертання $\omega_{(гв)}$, має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
Q_k = & 0,125\pi\omega_{\bar{a}\bar{a}}k_{g_o}\gamma_{\bar{a}}\sqrt[3]{-0,125W_o + \sqrt{W_o^2 - 0,008\left(\pi\omega_{\bar{a}\bar{a}}ek_{g_o}\gamma_{\bar{a}}\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2}\right)\right)^3}} + \\
& + \sqrt[3]{-0,125W_o - \sqrt{W_o^2 - 0,008\left(\pi\omega_{\bar{a}\bar{a}}ek_{g_o}\gamma_{\bar{a}}\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2}\right)\right)^3}} \operatorname{tg}\left(45 - \frac{\varphi_k}{2}\right) \times \\
& \times \left[0,016\left(\pi\omega_{\bar{a}\bar{a}}ek_{g_o}\gamma_{\bar{a}}\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2}\right)\right) - d^2 \right] \quad .(2.35)
\end{aligned}$$

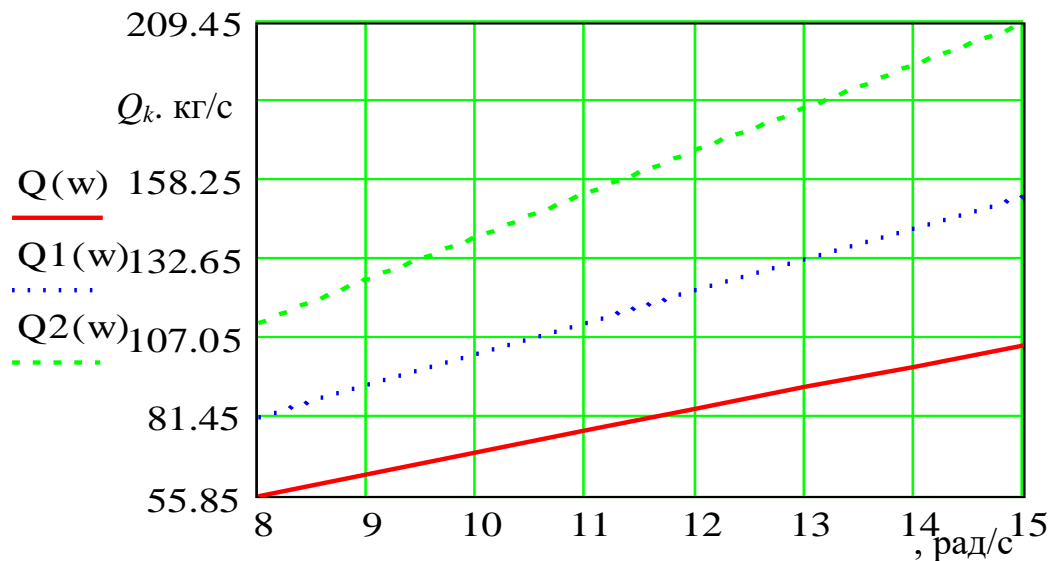


Рисунок 2.6 - Залежність продуктивності гвинта Q_k $\omega_{зв}$: $Q(w)$, $Q1(w)$, $Q2(w)$ – відповідно при $D = 0,5; 0,6; 0,7$ (м)

На рис. 2.6 представлено залежності продуктивності гвинта Q_k від кутової швидкості його обертання $\omega_{(ГВ)}$ для діаметрів $D = 0,5; 0,6$ та $0,7$ м.

Порівняння розрахункової продуктивності гвинта та необхідної пропускної здатності очисника показує, що досягнення продуктивності $Q_k = 80 \dots 100$ кг/с забезпечується при $\omega_{(ГВ)} = 8,0 \dots 11,0$ рад/с для $D = 0,6$ м та при $\omega_{(ГВ)} = 12,0 \dots 14,5$ рад/с для $D = 0,5$ м. Кількість заходів гвинтової лінії z у загальному випадку визначають за формулою :

$$z_{зв} = S / l_{c.в}, \quad (2.36)$$

Відстань S вибирають з урахуванням умов забезпечення «вільного» проходження вороху між витками гвинта та уникнення його скупчення перед гвинтом через наявність великих складових компонентів вороху. З урахуванням

даних досліджень приймаємо $S = 0,7$ м, тоді за кроку гвинта $S = 0,7$ м кількість заходів гвинтової лінії становить $z = 1$.

Відстань між нижнім торцем гвинта та нижнім відминальним вальцем і робочою гілкою подавального транспортера, відповідно L_1 та L_2 , а також параметри відминальних вальців (діаметр d_v і кутова швидкість ω_v) приймають згідно з рекомендаціями: $d_v = 0,07$ м, $L_1 = 0,045$ м, $d = 0,12$ м, $\omega_v = 45$ рад/с.

Параметри очисних елементів 4 транспортерно-гвинтового очисника, раціональність яких буде перевірена експериментально, приймають виходячи з конструктивних міркувань. Кутова швидкість обертання очисних пружних елементів відповідає кутовій швидкості гвинта $\omega_{(ГВ)}$. Довжину пружних елементів приймають у межах L_e (м), а діаметр відповідно до жорсткості матеріалу $d_e = 2,0 \dots 6,0$ мм.

Таким чином, для проведення експериментальних досліджень очисника приймаються такі конструктивно-кінематичні параметри:

- діаметр гвинта $D = 0,5 \dots 0,7$ м;
- крок гвинта $S = 0,7$ м;
- число заходів $z = 1$;
- кутова швидкість обертання гвинта $\omega_{(ГВ)} = 9,0 \dots 15,0$ рад/с;
- діаметр трубчастої основи гвинта $d = 0,1$ м;
- довжина та діаметр очисних пружних елементів L_e (м) та $d_e = 2,0 \dots 6,0$ мм;
- відстань між нижнім торцем гвинта та нижнім відминальним вальцем і робочою гілкою подавального транспортера $L_1 = 0,07$ м, $L_2 = 0,045$ м;
- діаметр і кутова швидкість обертання відминальних вальців $d = 0,12$ м, $\omega_v = 45$ рад/с.

Висновки

1. Зміна якої описується математичною моделлю, збільшується з збільшенням вологості ґрунту W_{zp} (коефіцієнта $k_{W\gamma}$) і співвідношення глибини залягання коренеплоду у ґрунті до його загальної довжини $k_{H_1L_k}$, причому значний

приріст маси налиплого ґрунту спостерігається при значеннях $k_{H_1 L_k} > 0,6$ і $k_{W_\gamma} < 0,9$, тобто при заляганні коренеплоду у ґрунті більше $0,5 L_k$ і $W_{zp} > 21 \%$.

2. Значне збільшення маси ґрунту m_{zp} спостерігається при значенні діаметра коренеплодів $D_k \geq 20$ см, причому зміна загальної довжини коренеплоду L_k у межах ± 10 см суттєво не впливає. Крім того, із збільшенням коефіцієнта вологості ґрунту k_{W_γ} , маса налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду m_{zp} збільшується згідно зворотнопропорційної функції.

3. Пропускна здатність очисника W_o залежить від подачі викопаного вороху коренеплодів W_g , зміна яких описується лінійними математичними моделями і зростають прямопропорційно збільшенню робочої швидкості руху машини V_m та кількості рядків n , які збираються одночасно. При одночасному збиранні 3, 4 і 6 рядків кормових буряків до очисника $\eta_c = 0,5$ і $\eta_c = 0,7$ його пропускна здатність повинна знаходитися у межах: $W_o = 36,9 \dots 46,5$; $49,1 \dots 61,4$ і $73,9 \dots 92,3$ (кг/с) та $W_o = 41,3 \dots 51,7$; $55,0 \dots 68,8$ і $82,7 \dots 103,4$ (кг/с) при зміні швидкості руху машини $V_m = 1,6 \dots 2,0$ (м/с).

4. Продуктивність транспортерно-гвинтового очисника визначається його пропускною здатністю та переважно зумовлюється розрахунковими параметрами гвинтового конвеєра. При цьому необхідно виконання певної умови, сформульованої у відповідних математичних моделях.

5. Необхідна продуктивність гвинта Q_k , яка знаходиться у межах $80 \dots 100$ (кг/с), забезпечується при наступних значеннях конструктивно-кінематичних параметрів гвинта: діаметр, крок, число заходів і кутова швидкість обертання гвинта, відповідно, $D = 0,5 \dots 0,7$ (м); $S = 0,7$ м; $z_{zg} = 1$.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ

3.1 Програма досліджень, а також об'єкт і предмет експерименту

Згідно визначеної мети роботи та поставлених наукових задач, а також проведеного теоретичного аналізу технологічного процесу доочищення вороху кормових буряків, програма експериментальних досліджень включає наступні питання:

1. На основі проведеного аналізу роботи відомих очисників вороху коренеплодів обґрунтувати технологічний процес сепарації вороху та розробити конструктивно-технологічну схему сепаратора з застосуванням комбінованого транспортерно-гвинтового очисника.

2. Провести комплекс експериментальних досліджень для визначення маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду у залежності від їх агробіологічних характеристик і фізичного стану ґрунту.

3. Провести експериментальні дослідження основних показників ефективності процесу розділення компонентів вороху - коренеплодів і домішок на комбінованому транспортерно-гвинтовому очиснику та обґрунтувати його раціональні конструктивно-кінематичні параметри.

4. Провести порівняльну оцінку ефективності використання коренезбиральної машини, обладнаної розробленим очисником вороху і базової машини у умовах господарства.

При проведенні експериментальних досліджень використовували розроблені експериментальні польові установок з можливістю регулювання їх конструктивно-кінематичних параметрів для підтвердження та доповнення теоретичних досліджень і отримання необхідних експериментальних залежностей з метою обґрунтування раціональних параметрів очисника вороху та основних режимів роботи удосконаленої коренезбиральної машини.

Технічна характеристика польової установки, при проведенні експериментальних досліджень показників ефективності відокремлення домішок від коре-

неплодів, дозволяла змінювати основні параметри робочих органів транспортерно-гвинтового очисника у таких межах: поступальну швидкість руху горизонтального транспортера $V_{mp} = 1,2; 1,4; 1,6$ і $1,8$ м/с; кутову швидкість обертання гвинта $\omega_{zg} = 9,2; 12,5$ і $15,8$ рад/с; зазор між гвинтом і робочою віткою горизонтального транспортера $H = 0,05; 0,07$ і $0,09$ м, при цьому постійними були зовнішній діаметр гвинта $D = 0,6$ м, кутова швидкість обертання відминальних циліндричних вальців $\omega_v = 45$ рад/с, висота витків гвинта $h = 0,25$ м, крок гвинта $T = 0,7$ м, зазор між нижнім відминальним вальцем і робочою віткою горизонтального транспортера $H_g = 0,05$ м.

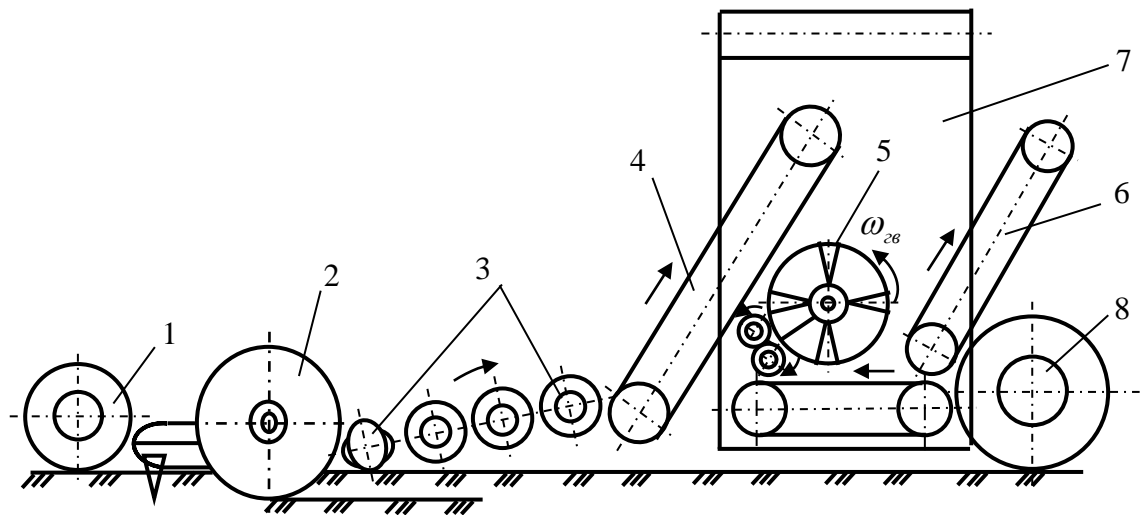


Рисунок 3.1 - Конструктивно-компонувальна схема модернізованої коренезбиральної машини: 1 – копіювальне колесо; 2 – дисковий сферичний копач; 3 – очисник вороху; 4, 7 – повздовжній і вивантажувальний транспортери;

Для проведення польових експериментальних та порівняльних випробувань розробленого очисника використовувався дослідний зразок модернізованої серійної причіпної коренезбиральної машини МКП-4. Модернізація серійного агрегату полягала в заміні передніх чотирьох вібраційних лемішних копачів і бітера-виштовхувача на чотири однодискові сферичні пасивні викопувальні робочі органи, оснащені корененапрямниками.

Крім того, існуючий поперечний прутковий транспортер, що переміщував

ворох із гірки на вивантажувальний транспортер, було подовжено та повернуто на 90°, над яким встановлено гвинт із очисними пружними елементами, розташованими між його витками, причому напрямок їхньої навивки протилежний напрямку витків гвинта.

Конструктивна схема модернізованої машини наведена на рис. 3.1, а загальний вигляд причіпної коренезбиральної машини МКП-4 - на рис. 3.2.



Рисунок 3.2- МКП-4

Модернізована причіпна коренезбиральна машина складається з таких основних вузлів: копіювальні колеса (1), однодискові сферичні копачі з корененапрямниками (2), очисник вороху (3), повздовжній транспортер (4), транспортерно-гвинтовий очисник (5), очисна гірка (6), вивантажувальний транспортер (7) та опорні колеса (8).

Привід робочих органів забезпечується від валу відбору потужності (ВВП) трактора ХТЗ-120.

Технологічний процес роботи модернізованої машини відбувається наступним чином. Коренеплоди викопуються сферичними дисковими копачами (2) і надходять на лопатеві очисні вали очисника (3), де здійснюється первинне очищення від домішок. Далі ворох переміщується повздовжнім транспортером

(4) на очисну гірку (6). На гірці коренеплоди активно перекочуються і ковзають по робочій поверхні полотна, що забезпечує захоплення домішок ґрунту та рослинних решток пальцями і їх винос за межі машини. Недоочищені коренеплоди, земляні грудки та рослинні домішки скочуються з полотна гірки і потрапляють на горизонтальний транспортер транспортерно-гвинтового очисника (5). Очищені коренеплоди надходять на вивантажувальний транспортер (7), за допомогою якого вони завантажуються у транспортний засіб, що рухається поруч із збиральною машиною.

3.2 Методика визначення маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів

Маса налиплого ґрунту на поверхні викопаних коренеплодів є одним із ключових показників ефективності роботи коренезбиральних машин та очисних пристроїв. Вона характеризує ступінь очищення коренеплодів від сторонніх домішок і безпосередньо впливає на якість подальшого зберігання та переробки продукції. Точне визначення цього параметра дозволяє не лише оцінити ефективність конкретного очисника, але й встановити залежність від технологічних та агротехнічних факторів, таких як вологість ґрунту, глибина залягання коренеплоду та розмір його головки.

Методика визначення маси налиплого ґрунту передбачає комплексне застосування польових та лабораторних процедур, що забезпечують відтворюваність та достовірність результатів.

Вибір дослідного матеріалу

Для проведення експериментальних визначень відбиралися коренеплоди кормових буряків, які були викопані за допомогою модернізованої причіпної коренезбиральної машини МКП-4 із транспортерно-гвинтовим очисником. Відбір проводився на різних ділянках поля, щоб врахувати змінність ґрунтово-кліматичних умов і неоднорідність рослинного матеріалу.

Кожна вибірка включала не менше 50–100 коренеплодів. Відбиралися лише цілі, неушкоджені коренеплоди, оскільки пошкоджені екземпляри могли давати спотворені результати через підвищене налипання ґрунту в тріщинах та на пошкоджених ділянках поверхні.

Для забезпечення однорідності дослідних даних, кожна вибірка коренеплодів була маркована відповідно до ділянки поля, глибини залягання та вологості ґрунту, де проводився збір.

Польова частина досліджень

У польових умовах визначення маси налиплого ґрунту починалося безпосередньо після викопування коренеплодів. Викопаний ворох надходив на транспортерно-гвинтовий очисник, де частково відділялися великі ґрунтові грудки та рослинні рештки. Потім коренеплоди збиралися вручну або спеціальними лотками для подальшої лабораторної обробки.

Кожна вибірка коренеплодів зважувалася у польових умовах з метою визначення загальної маси «брудного» вороху (M_0). Цей етап дозволяв встановити початковий контрольний показник, який використовувався для розрахунку питомої маси налиплого ґрунту.

Додатково фіксувалися такі параметри: вологість ґрунту (W , %), виміряна за допомогою польового вологоміра або методом висушування проби ґрунту; глибина залягання коренеплоду (h , см), визначена від поверхні ґрунту до верхньої частини кореня; розмір головки коренеплоду (d , см), вимірний штангенциркулем. Ці фактори були обрані як основні впливові при статистичному аналізі даних та побудові регресійних моделей.

Лабораторна обробка та визначення маси налиплого ґрунту

Після збору вибірки коренеплодів у польових умовах їх переміщували у лабораторію, де проводилася основна частина досліджень. Методика полягала у наступному:

Попереднє очищення: коренеплоди акуратно обтрушували, щоб видалити великі грудки ґрунту, що не прилипили до поверхні. Цей етап виконувався

вручну, без застосування води, щоб не змінити природну масу налиплого ґрунту.

Висушування налиплого ґрунту: коренеплоди поміщали на спеціальні решета або підставки та залишали у кімнатних умовах або в сушильній шафі при температурі 50–60 °С до постійної маси. Маса ґрунту визначалася як різниця між масою «брудного» коренеплоду (M_0) та масою повністю очищеного коренеплоду (M_k).

Зважування: для визначення маси налиплого ґрунту використовували лабораторні ваги з точністю до 0,1 г. Кожен коренеплід зважувався індивідуально, після чого обчислювалася середня маса налиплого ґрунту для всієї вибірки.

Облік повторів: для підвищення достовірності результатів усі дослідні провадження у триразовій повторності, що дозволяло усунути випадкові похибки та врахувати варіацію між окремими екземплярами.

Для статистичного аналізу результати обробляли за допомогою пакету прикладних програм на ПК (наприклад, MatLab або Statistica), будували регресійні залежності, визначали вплив окремих факторів та їх взаємодію на масу налиплого ґрунту.

Урахування факторів, що впливають на налипання ґрунту

При проведенні експериментів особлива увага приділялася контролю основних факторів, які впливають на величину налиплого ґрунту:

Вологість ґрунту. Підвищена вологість сприяє більшому налипанню ґрунту на поверхню коренеплоду, тому дослідження проводили у діапазоні 16–26 %.

Глибина залягання коренеплоду. Коренеплоди, що ростуть глибше, зазвичай мають більшу контактну площу з ґрунтом і відповідно більшу масу налиплого ґрунту.

Діаметр головки коренеплоду. Великі за розміром головки збільшують площу поверхні, на яку налипає ґрунт.

Для кожного експериментального фактора будували серії однофакторних та багатфакторних дослідів, що дозволяло встановити взаємозв'язок між змінними та визначити оптимальні умови роботи очисника.

Методика визначення маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів, що поєднує польові та лабораторні етапи, дозволяє отримувати достовірні та відтворювані результати. Застосування статистичного аналізу та регресійних моделей дозволяє не лише оцінити ефективність роботи коренезбиральних машин і очисників, але й прогнозувати вплив агротехнічних факторів на якість очищення коренеплодів.

Використання цієї методики є необхідним етапом при випробуваннях нових конструкцій транспортерно-гвинтових очисників і модернізованих коренезбиральних машин, оскільки забезпечує об'єктивну оцінку їх технологічних характеристик та дозволяє підвищувати якість збирання кормових буряків.

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (3.1)$$

$$X_0 = \frac{X_{max} + X_{min}}{2}, \quad (3.2)$$

$$\Delta X_i = \frac{X_{max} - X_{min}}{2}, \quad (3.3)$$

Під час формування умовної план-матриці для проведення експериментальних досліджень кожному рівню зміни факторів було присвоєно умовні індекси: +1 – для верхнього рівня, -1 – для нижнього та 0 – для нульового. Закодовані значення факторів разом із їх діапазонами наведено у рис. 3.3.

– зокрема, показники вологості ґрунту 15,0; 21,0 та 27,0 % відповідали коефіцієнтам вологості 1,27; 0,9 та 0,7 відповідно.

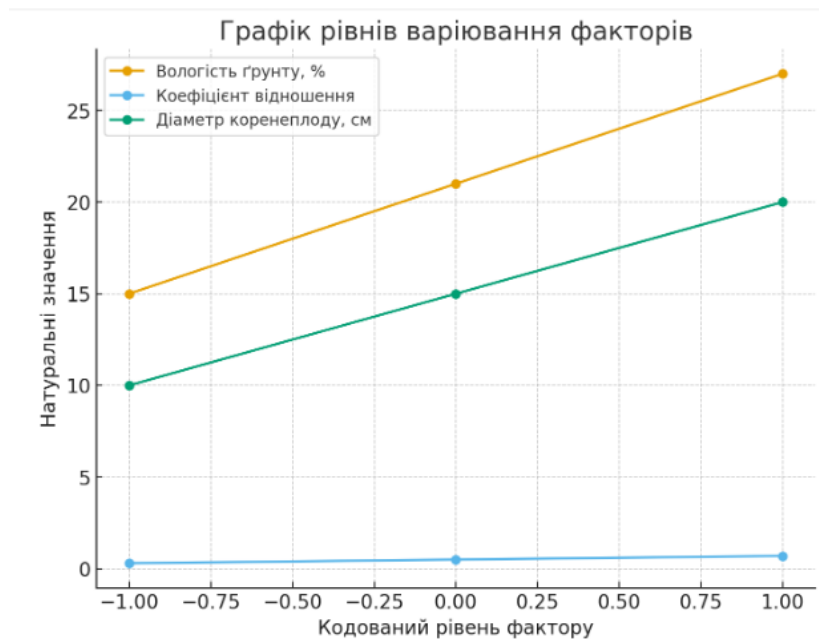


Рисунок 3.3 – Представлення кодovаних факторів

Демонстрація 3D-залежності параметра оптимізації U від x_1 та x_2 при трьох рівнях x_3

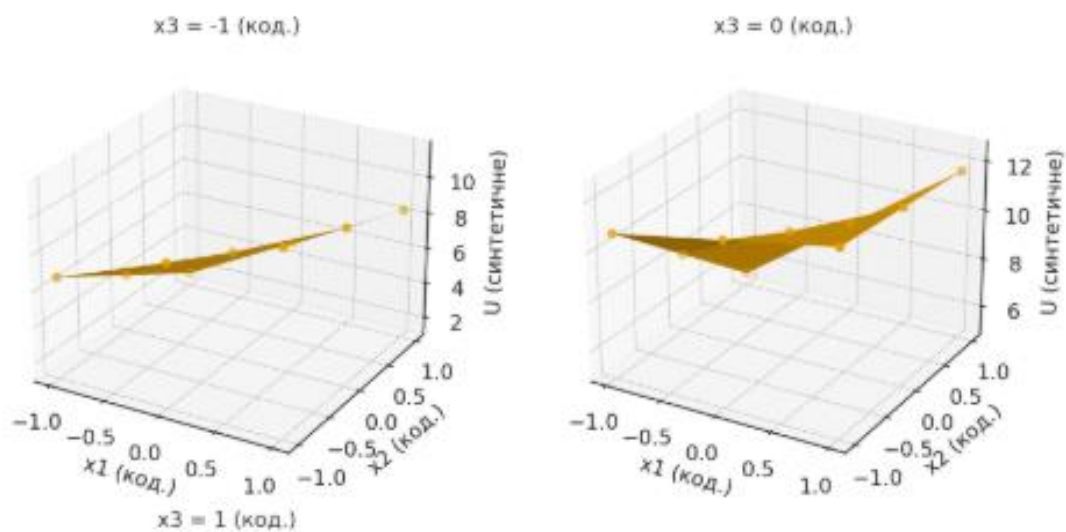


Рисунок 3.4 - Схема структурна експериментальна

Після здійснення процедури кодування вхідних параметрів було побудовано умовну план-матрицю повного факторного експерименту типу ПФЕ 3^3 , що охоплює загальну кількість дослідів , де P – число рівнів варіювання, а k – кількість досліджуваних факторів. Відповідну структуру

експериментальної схеми подано в таблиці 3.2

$$Y = m_{ep.e} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (3.4)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N}; \quad (3.5)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N}; \quad b_{ijk} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} x_{ku} \bar{y}_u}{N}, \quad (3.6)$$

Проведення досліджень, порядок відбору проб та визначення маси налиплого на поверхню коренеплодів ґрунту здійснювали відповідно до загальноприйнятих стандартних методик, встановлених чинними нормативними документами та рекомендаціями.

Після виконання серії вимірювань усі отримані обчислені дані систематизували й вносили до зведеної таблиці результатів експериментів. Подальшу обробку експериментальних значень здійснювали із застосуванням поширених методів статистичного аналізу та математичної обробки результатів досліджень.

Як функцію відгуку (показник оптимізації) використовували апроксимуючу математичну модель у формі повного квадратичного полінома, яка адекватно відображає характер перебігу реального експериментального процесу.

3.3 Методика проведення польових експериментальних і порівняльних досліджень комбінованого очисника

Проведення експериментальних та порівняльних досліджень є ключовим

етапом оцінки ефективності роботи комбінованого транспортерно-гвинтового очисника, встановленого на причіпній коренезбиральній машині МКП-4. Метою експериментів було визначення впливу конструктивно-технологічних параметрів очисника на якість очищення коренеплодів, зокрема масу налиплого ґрунту, наявність рослинних домішок та пошкодженість коренеплодів.

Методика включала комплекс польових та лабораторних дослідів, що забезпечує високий рівень відтворюваності та дозволяє проводити статистичний аналіз отриманих результатів. Особлива увага приділялася контролю агротехнічних факторів, таких як вологість ґрунту, глибина залягання коренеплоду та розміри головки коренеплоду.

Об'єктом досліджень були кормові буряки, викопані за допомогою модернізованої причіпної машини МКП-4 із комбінованим очисником, що поєднує функції лопатевого очисника та транспортерно-гвинтового пристрою з пружними елементами.

Польові експерименти проводилися на дослідних ділянках поля, які характеризувалися різною вологістю ґрунту (16–26%), що дозволяло оцінити вплив природних умов на ефективність очищення. Всі досліді здійснювалися за однакових експлуатаційних умов: швидкість руху машини 1,6–2,0 м/с, однакове навантаження на робочі органи та стабільне положення транспортера.

Для порівняння використовували базову серійну машину МКП-4 без комбінованого очисника. Це дозволяло оцінити ефективність модернізованого очисника відносно стандартного обладнання.

Програма експериментальних випробувань передбачала послідовне проведення наступних етапів:

Вибір і підготовка ділянок для випробувань. Ділянки вибиралися таким чином, щоб забезпечити рівномірне розподілення факторів: вологості ґрунту, щільності посівів та глибини залягання коренеплодів. Для кожної ділянки проводили попереднє визначення вологості ґрунту та середніх розмірів коренеплодів.

Польові випробування. Викопані коренеплоди надходили на очисник, де

відбувалося первинне очищення від ґрунту і рослинних домішок. Потім ворох направлявся на транспортерно-гвинтовий очисник, де здійснювався додатковий розподіл та очищення коренеплодів за допомогою пружних очисних елементів.

Вибірка коренеплодів для лабораторного аналізу. З кожної ділянки відбиралися вибірки по 50–100 коренеплодів для визначення маси налиплого ґрунту, наявності рослинних домішок та пошкоджень. Вибірка проводилася таким чином, щоб охопити весь діапазон глибини залягання та розмірів коренеплодів.

Лабораторна обробка та вимірювання параметрів. Коренеплоди акуратно очищували від великих грудок ґрунту і окремо зважували для визначення маси налиплого ґрунту, після чого фіксували наявність домішок і пошкоджень.

Повторність дослідів. Для забезпечення достовірності всі досліді проводилися у триразовій повторності.

Порівняльні випробування дозволяли оцінити ефективність комбінованого очисника відносно серійної машини МКП-4. Для цього застосовували такі підходи:

Використання однакових ділянок і умов для обох машин.

Вимірювання одних і тих самих параметрів: маса налиплого ґрунту, вміст рослинних домішок, загальна забрудненість вороху та пошкодженість коренеплодів.

Порівняння результатів за допомогою відносних показників і коефіцієнтів зменшення домішок і налиплого ґрунту.

Порівняльний аналіз здійснювався як на рівні середніх значень параметрів, так і через побудову регресійних залежностей, що дозволяло визначити не лише абсолютну ефективність, але й вплив кожного фактору на роботу очисника.

Вимірювальні параметри та оцінка ефективності

Основними параметрами, що визначалися під час експериментів, були:

- маса налиплого ґрунту на поверхні коренеплодів (M_n , кг).
- вміст рослинних домішок (P , %).

- загальна забрудненість вороху (З, %).
- кількість пошкоджених коренеплодів (П, %).

Отримані дані піддавали статистичній обробці з використанням ПК і спеціальних прикладних програм (MatLab, Statistica, Excel).

Будувалися регресійні моделі залежності показників якості очищення від факторів: вологості ґрунту, глибини залягання коренеплоду та діаметра головки.

Визначалися одиночні та комбіновані ефекти факторів на масу налиплого ґрунту та забрудненість коренеплодів.

Проводилися графічні порівняння ефективності базової та модернізованої машини, включаючи побудову діаграм і поверхонь відгуку.

Методика проведення експериментальних та порівняльних досліджень комбінованого очисника дозволяє комплексно оцінити його ефективність у реальних польових умовах. Вона поєднує польові вимірювання, лабораторну обробку вибірок та статистичний аналіз результатів, що забезпечує високу достовірність та відтворюваність даних.

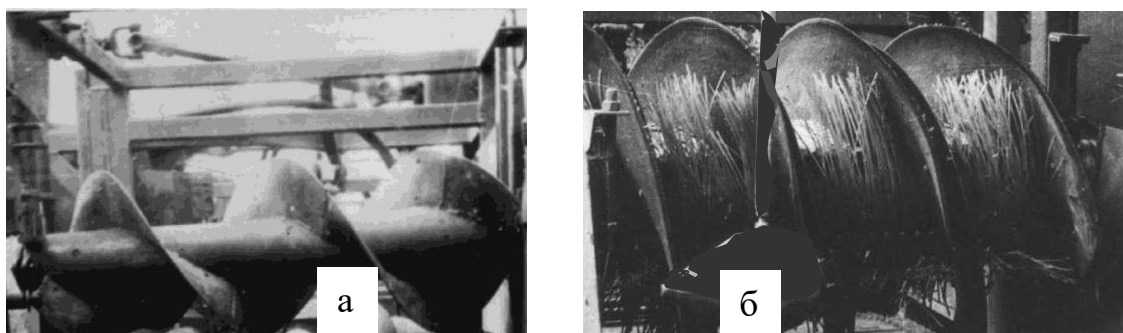


Рисунок 3.5 Вигляд гвинтів досліджувальних

Використання порівняльних випробувань із базовою машиною МКП-4 дає змогу визначити приріст ефективності очищення коренеплодів, а також встановити оптимальні параметри роботи очисника в залежності від умов вологості та фізичних характеристик ґрунту.

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (3.7)$$

Параметри апроксимуючого полінома, поданого у формі повного квадратичного рівняння, за умов дотримання ортогональності та симетричності плану, обчислювали на основі універсальних розрахункових залежностей (3.5) і (3.6).

Висновки

За результатами розрахунків, виконаних із використанням пакету прикладних статистичних програм для обробки та аналізу експериментальних даних на ПК, були побудовані поверхні відгуку параметрів оптимізації та двовимірні перерізи цих поверхонь для наочного представлення результатів експериментів. Отримані регресійні залежності дозволяли оцінити вплив окремих факторів та їх взаємодію на параметри оптимізації, такі як загальна забрудненість вороху коренеплодів, забрудненість рослинними домішками, пошкодження коренеплодів та маса налиплого ґрунту на поверхні коренеплоду.

Залежності параметрів оптимізації від зміни одного вхідного фактора при фіксованому значенні іншого будували з використанням пакета прикладної програми «MatCad».

Для визначення впливу вологості ґрунту на агротехнічні показники якості технологічного процесу сепарації домішок викопаного вороху транспортерно-гвинтовим очисником були проведені польові експериментальні дослідження причіпної установки. Було побудовано серії однофакторних класичних експериментів, параметрами оптимізації яких виступали загальна забрудненість вороху та маса налиплого ґрунту на поверхні коренеплодів, а змінним фактором - вологість ґрунту на дослідних ділянках посівів кормових буряків. Діапазон вологості ґрунту становив 16,0–26,0 %.

Польові порівняльні дослідження модернізованої коренезбиральної машини з транспортерно-гвинтовим очисником проводили у порівнянні з

базовою машиною МКП-4. Порядок проведення досліджень регламентувався положеннями. Умови випробувань для обох машин були однаковими, а показники якості роботи переобладнаної та серійної техніки визначалися згідно з КД 46.16.01.005–93 «Випробування сільськогосподарської техніки» та методикою проведення випробувань коренезбиральних машин для збирання кормових буряків, розробленою на основі галузевого стандарту.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Лабораторно-польові експериментальні дослідження комбінованого очисника

Було встановлено, що крок T і діаметр D гвинта суттєво не впливають на ступінь відокремлення домішок від коренеплодів і у подальшому значення кроку та діаметра гвинта приймали незмінними згідно обґрунтованих і визначених параметрів, які наведені у роботі [4] на основі аналізу розрахункової продуктивності і допустимої результуючої швидкості співудару коренеплоду з робочими поверхнями очисника – $T = 0,7$ м; $D = 0,6$ м, при цьому кут швидкості обертання гвинта $\omega_{zg} = 12,5$ рад/с, а висота витка гвинта була рівною $a = 0,25$ м.

Окремо провели однофакторний експеримент для визначення суттєвості впливу довжини пружних очисних елементів $l_{o,e}$ пучків ворсу на основні показники якості роботи транспортерно-гвинтового очисника – забрудненість вороху Z_k та маси налиплого ґрунту m_{zp} на поверхні тіла коренеплодів. При цьому відминальні вальці 10 демонтували з лабораторної установки. Аналіз отриманих показників показав, що раціональним значенням довжини пружних очисних елементів $l_{o,e}$ пучків ворсу слід вважати $l_{o,e} = a$, або коли їх довжина $l_{o,e}$ менша за висоту витка гвинта a у межах до 10 мм, тобто $l_{o,e} = 0,24...0,25$ (м). При значенні довжини пружних очисних елементів $l_{o,e}$ пучків ворсу більшої за висоту витка гвинта a у межах до 10 мм значного покращення ступеня відокремлення рослинних залишків і маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів не спостерігається. При подальшому збільшенні довжини $l_{o,e}$ показники Z_k і m_{zp} частково знижуються, але у цьому випадку виникають конструктивні протиріччя при розташуванні відминальних вальців, або порушення технологічного процесу роботи очисника у разі затягування пружних очисних елементів між поверхні відминальних вальців.

Загальний вигляд очисника приведено на рис. 4.1.

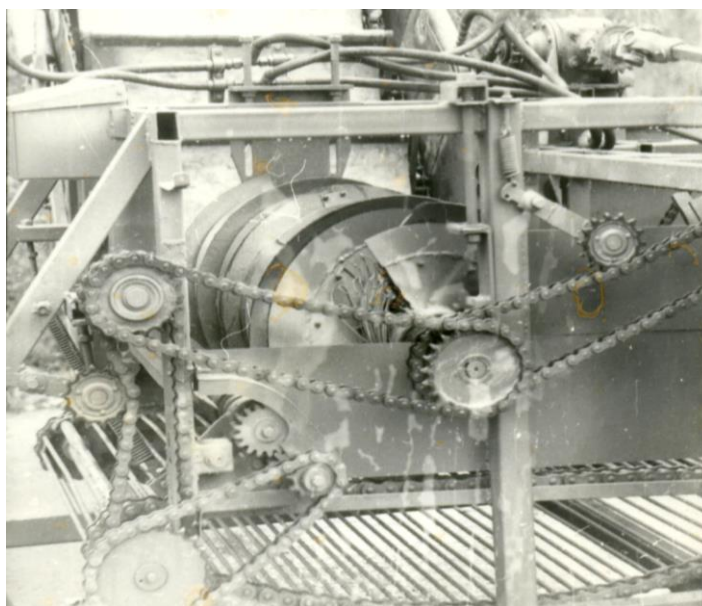


Рисунок 4.1 - Очисної системи вигляд загальний

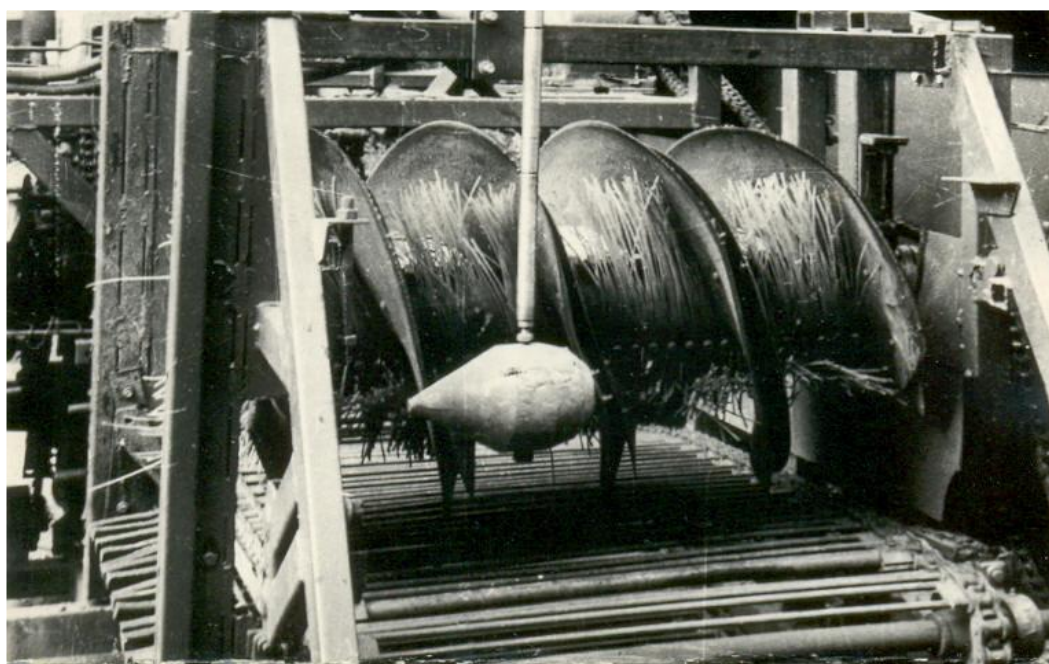


Рисунок 4.2 - Очисної системи вигляд

У подальших етапах роботи, відповідно до сформованої програми експериментальних досліджень і з урахуванням технічних умов та режимів функціонування дослідної установки, вивчали закономірності зміни таких

показників, як загальна засміченість вороху коренеплодів домішками, рівень забрудненості коренеплодів рослинними рештками, ступінь їх пошкоджень та маса налиплого ґрунту на поверхні. Ці параметри аналізували залежно від кутової швидкості обертання гвинта, ворсу пучків, що в роботі є визначальними.

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (4.1)$$

Під час вивчення залежностей загальної забрудненості коренеплодів, рівня їх засміченості рослинними домішками, сумарних пошкоджень та маси налиплого ґрунту на поверхні коренеплодів кормових буряків, перед початком проведення експериментів виконували процедуру кодування факторів (табл. 3.1) та формували план-матрицю досліджень (табл. 3.2). До цієї матриці послідовно вносили всі експериментальні дані, отримані під час кожного досліджу.

$$X_{01} = \frac{15,8 + 9,2}{2} = 12,5 \text{ (рад/с);} \quad (4.2)$$

$$X_{02} = \frac{6,0 + 2,0}{2,0} = 4,0 \text{ (мм).} \quad (4.3)$$

$$\Delta X_1 = \frac{15,8 - 9,2}{2} = 3,3 \text{ (мм);} \quad x_1 = \frac{\omega_{\text{св}} - 12,5}{3,3}; \quad (4.4)$$

$$\Delta X_2 = \frac{6,0 - 2,0}{2,0} = 2,0 \text{ (мм);} \quad x_2 = \frac{d_{\text{o.e}} - 4,0}{2,0}. \quad (4.5)$$

Середня вологість середнесуглинкового ґрунту завантажувальної навіски викопаного вороху коренеплодів на протязі проведення експериментів дорівнювала 20,6% і змінювалася в ході проведення кожного експерименту на

$\pm 0,2...0,4 \%$.

Значення загальної забрудненості коренеплодів Z_k , забрудненості коренеплодів рослинними домішками Z_p , загальних пошкоджень коренеплодів P_k і маси налиплого ґрунту m_{gp} на поверхні тіла коренеплодів у залежності від зміни факторів – кутової швидкості обертання гвинта та діаметра очисних елементів пучків ворсу занесли у таблицю. При проведенні порівняльних однофакторних експериментів, очисні пружні елементи 9 пучків ворсу та відминальні вальці 10 демонтували з гвинтового конвеєра.

Загальний вигляд рівняння регресії залежності загальної забрудненості коренеплодів від зміни кутової швидкості обертання гвинта x_1 і діаметра очисних пружних елементів x_2 пучків ворсу за результатами проведеного ПФЕ Z^2 в кодованих величинах буде:

$$Z_k = 22,89 - 1,43x_1 - 2,91x_2 + 0,03x_1x_2 + 0,06x_1^2 + 0,19x_2^2. \quad (4.6)$$

де x_1 - кутова швидкість обертання гвинта;

x_2 - діаметр очисних пружних елементів пучків ворсу.

Статистичну значущість коефіцієнтів рівняння регресії (4.6) оцінювали за допомогою t-критерію Ст'юдента; розрахункові значення наведено в додатку. Це свідчить, що остаточне рівняння регресії, що описує залежність загальної забрудненості коренеплодів від зміни кутової швидкості обертання гвинта n та діаметра очисних пружних елементів пучків ворсу, у кодованих величинах за результатами проведеного ПФЕ Z^2 має наступний вигляд. Адекватність обраної моделі, тобто відповідність теоретичного розподілу випадкових величин рівняння регресії (4.27) реальному процесу, перевіряли за F-критерієм Фішера. Табличне значення цього критерію позначимо

Таким чином, відповідно у натуральних величинах (координатах) рівняння регресії (4.7) після підстановки відповідних значень у залежність

$$Z_k = b_0 + \sum_{i=1}^2 b_i \left(\frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X} \right) \text{ приймає вигляд:}$$

$$Z_k = 22,89 - 1,43\left(\frac{\omega_{2\theta} - 12,5}{3,3}\right) - 2,91\left(\frac{d_{o,e} - 4,0}{2,0}\right) + 0,19\left(\frac{d_{o,e} - 4,0}{2,0}\right)^2. \quad (4.8)$$

Після перетворення виразу (4.8) маємо:

$$Z_k = 34,89 - 0,43\omega_{2\theta} - 1,84d_{o,e} + 0,05d_{o,e}^2. \quad (4.9)$$

Отримана регресійна залежність (4.7) може бути використана для визначення загальної забрудненості вороху коренеплодів домішками від зміни конструктивного і кінематичного параметрів гвинтового конвеєра - кутової швидкості обертання гвинта $\omega_{2\theta}$ і діаметра очисних пружних елементів $d_{o,e}$ пучків ворсу у таких межах: $9,2 \leq \omega_{2\theta} \leq 15,8$ (рад/с); $2,0 \leq d_{o,e} \leq 6,0$ (мм).

Порівняльний аналіз загальної забрудненості вороху коренеплодів домішками показує, що встановлення на барабані гвинта очисних пружних елементів зменшує загальну забрудненість вороху, при чому значне зменшення забрудненості спостерігається при значенні діаметра очисних елементів $d_{o,e} \geq 4$ мм - Z_k зменшується у 1,4...1,9 рази.

Провівши оптимізаційний розрахунок рівняння регресії за допомогою методу двомірних перерізів встановили, що для даних умов протікання процесу відсоток забрудненості вороху коренеплодів приймає оптимальні значення, тобто прямує до мінімального значення при $\omega_{2\theta} = 10$ рад/с, і $d_{o,e} = 6,0$ мм.

Обробку отриманих експериментальних даних при дослідженні залежності загальних пошкоджень коренеплодів Π_k від зміни кутової швидкості обертання гвинта $\omega_{2\theta}$ та діаметра очисних елементів $d_{o,e}$, тобто $\Pi_k = f(\omega_{2\theta}, d_{o,e})$, провели аналогічно обробки даних при дослідженні Z_k .

$$Z_k = 22,89 - 1,43x_1 - 2,91x_2 + 0,19x_2^2. \quad (4.7)$$

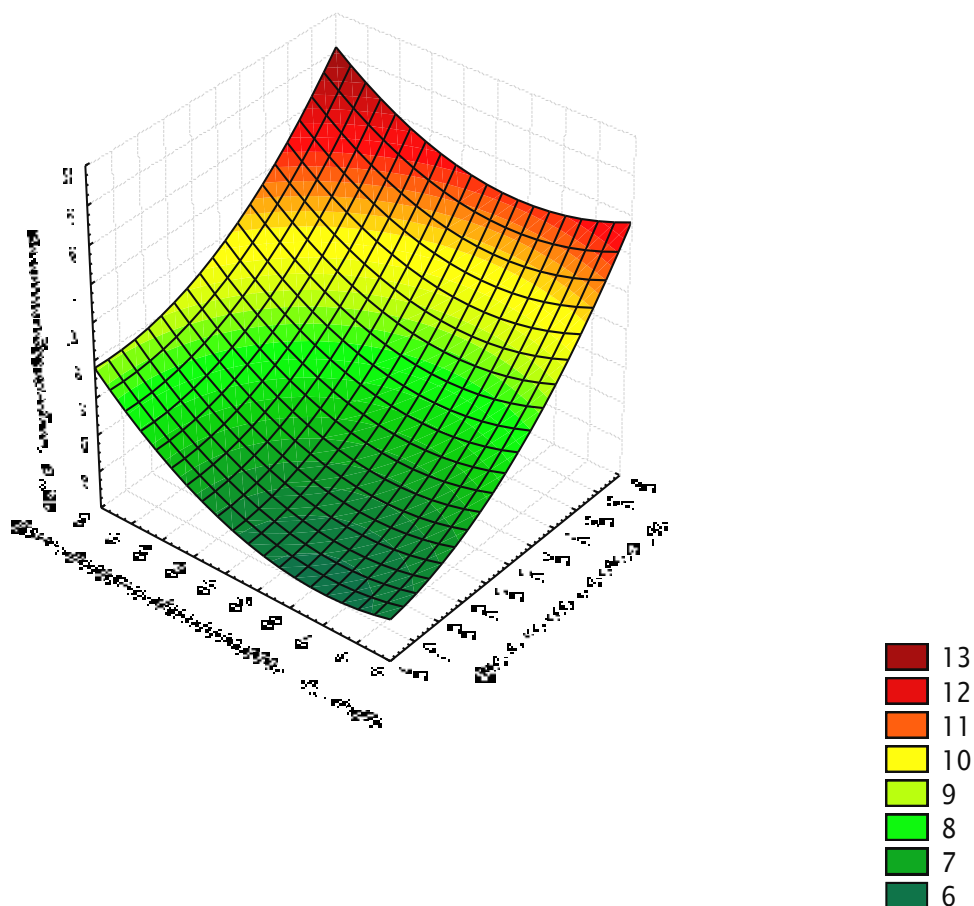


Рис. 4.3. Поверхня відгуку залежності загальної забрудненості вороху коренеплодів Z_k від зміни кутової швидкості обертання гвинта $\omega_{св}$ і діаметра пружних очисних елементів $d_{o.e}$

Тоді, рівняння регресії залежності загальних пошкоджень коренеплодів Π_k від зміни кутової швидкості обертання гвинта x_1 і діаметра очисних пружних елементів x_2 пучків ворсу за результатами проведеного ПФЕ 3^2 у кодованих величинах буде:

$$\Pi_k = 6,45 - 0,85x_1 + 0,09x_2 + 0,004x_1x_2 + 0,07x_1^2 + 0,02x_2^2. \quad (4.10)$$

Згідно розрахунку наведених даних коефіцієнти $b_{12} = 0,004$ і $b_{22} = 0,02$ не значимі.

Тоді остаточне рівняння регресії залежності загальних пошкоджень коренеплодів Π_{κ} від зміни кутової швидкості обертання гвинта x_1 і діаметра очисних пружних елементів x_2 пучків ворсу за результатами проведеного ПФЕ 3^2 у кодованих величинах має вигляд

$$\Pi_{\kappa} = 6,45 - 0,85x_1 + 0,09x_2 + 0,07x_1^2. \quad (4.11)$$

Розрахункові значення F - критерію Фішера показали, що умова адекватності виконується, тобто вибрана математична модель адекватно описує реальний експериментальний процес, або адекватна досліджуваному процесу.

Таким чином, відповідно у натуральних величинах (координатах) рівняння регресії приймає вигляд:

$$\Pi_{\kappa} = b_0 + \sum_{i=1}^2 b_i \left(\frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X} \right), \quad (4.12)$$

або після підстановки відповідних значень отримаємо

$$\Pi_{\kappa} = 6,45 - 0,85 \left(\frac{\omega_{z\theta} - 12,5}{3,3} \right) + 0,09 \left(\frac{d_{o.e} - 4,0}{2,0} \right) + 0,07 \left(\frac{\omega_{z\theta} - 12,5}{3,3} \right)^2. \quad (4.13)$$

Після перетворення виразу маємо:

$$\Pi_{\kappa} = 10,49 - 0,42\omega_{z\theta} + 0,05d_{o.e} + 0,006\omega_{z\theta}^2. \quad (4.14)$$

Отримана регресійна залежність (4.14) може бути використана для визначення загальних пошкоджень коренеплодів Π_{κ} від зміни параметрів гвинтового конвеєра - кутової швидкості обертання гвинта $\omega_{z\theta}$ і діаметра очисних пружних елементів $d_{o.e}$ ворсу у межах: $9,2 \leq \omega_{z\theta} \leq 15,8$ (рад/с); $2,0 \leq d_{o.e} \leq 6,0$ (мм).

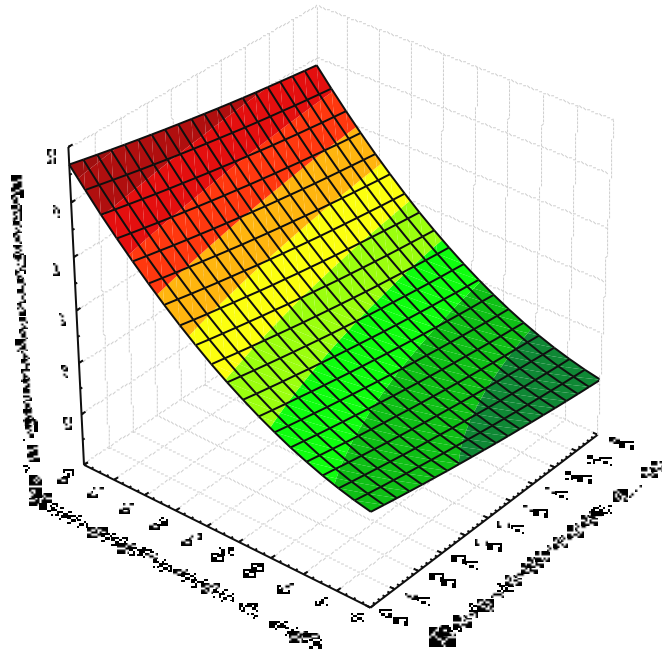


Рис.4.4. Поверхня відгуку залежності загальних пошкоджень коренеплодів P_k від зміни кутової швидкості обертання гвинта ω_{26} і діаметра пружних очисних елементів $d_{o,e}$



На рис. 4.4 наведені відповідно поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку залежності загальних пошкоджень коренеплодів P_k від зміни кутової швидкості обертання гвинта ω_{26} і діаметра очисних пружних елементів $d_{o,e}$ пучків ворсу, які побудовані згідно регресійного рівняння.

Аналізуючи поверхню відгуку можна зробити висновок, що домінуючим фактором, який значно впливає на зміну параметра оптимізації є кутова швидкість обертання гвинта ω_{26} - із її збільшенням загальні пошкодження зростають від 5,2 %, $\omega_{26} = 9,6$ рад/с до 11,1 % при значенні кутової швидкості обертання гвинта $\omega_{26} = 16,0$ рад/с, тобто пошкодження збільшуються у середньому у 2,1 рази. Автентичність даного твердження також підтверджується залежностями, при цьому характер впливу діаметра очисних елементів $d_{o,e}$ на зміну загальних пошкоджень коренеплодів P_k незначний. Так для значення $\omega_{26} = 12,5$ рад/с пошкодження становлять 7,0 і 8,0 %

при відповідних $d_{o,e} = 2,0$ і $6,0$ мм, тобто приріст пошкоджень складає у середньому $1,0\%$, що є незначним.

При дослідженні забрудненості вороху рослинними домішками (бур'янами, залишками гички) $Z_p = f(\omega_{zg}, d_{o,e})$, яка є одним із важливих показників якості роботи очисника, визначали коефіцієнти апроксимуючої функції, при цьому отримали такі значення: $b_0 = 12,59$; $b_1 = -0,66$; $b_2 = -1,98$; $b_{12} = 0,03$; $b_{11} = 0,04$; $b_{22} = 0,1$.

Тоді загальний вигляд рівняння регресії, яке характеризує показник Z_p від зміни кутової швидкості обертання гвинта ω_{zg} та діаметра очисних пружних елементів $d_{o,e}$ у межах зміни $9,2 \leq \omega_{zg} \leq 15,8$ м (рад/с), $2,0 \leq d_{o,e} \leq 6,0$ (мм)

$$Z_p = 12,59 - 0,66x_1 - 1,98x_2 + 0,03x_1x_2 + 0,04x_1^2 + 0,1x_2^2. \quad (4.15)$$

Таким чином, кінцеве рівняння регресії забрудненості вороху рослинними домішками Z_p від зміни кутової швидкості обертання гвинта x_1 та діаметра очисних пружних елементів x_2 пучків ворсу в кодованих величинах буде

$$Z_p = 12,59 - 0,66x_1 - 1,98x_2 + 0,1x_2^2. \quad (4.16)$$

Розрахункові значення F -критерію Фішера показали, що умова адекватності виконується, тобто вибрана математична модель адекватно описує реальний експериментальний процес, або адекватна досліджуваному процесу. Таким чином, відповідно у натуральних величинах (координатах) рівняння регресії (4.16) після підстановки відповідних значень формул у залежність

$Z_p = b_0 + \sum_{i=1}^2 b_i \left(\frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X} \right)$ приймає вигляд:

$$Z_p = 12,59 - 0,66 \left(\frac{\omega_{zg} - 12,5}{3,3} \right) - 1,98 \left(\frac{d_{o,e} - 4,0}{2,0} \right) + 0,1 \left(\frac{d_{o,e} - 4,0}{2,0} \right)^2, \quad (4.17)$$

або після відповідних перетворень отримаємо

$$Z_p = 19,45 - 0,26\omega_{zв} - 0,9d + 0,03d_{o,e}^2. \quad (4.18)$$

На рис. 4.5, 4.6 забрудненості вороху коренеплодів та діаметра очисних пружних елементів $d_{o,e}$.

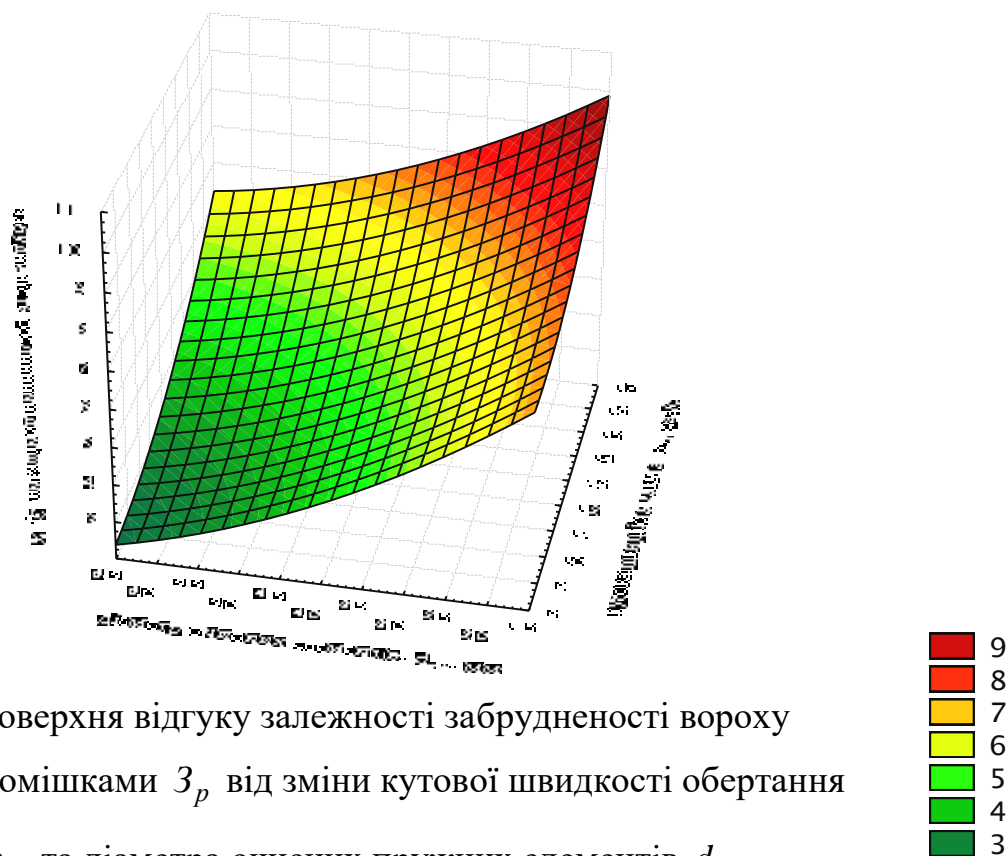


Рис. 4.5. Поверхня відгуку залежності забрудненості вороху рослинними домішками Z_p від зміни кутової швидкості обертання гвинта $\omega_{zв}$ та діаметра очисних пружних елементів $d_{o,e}$.

Аналіз поверхні відгуку показує, що зміна забрудненості вороху рослинними домішками Z_p функціонально залежить від $d_{o,e}$ і $\omega_{zв}$ - із збільшенням $d_{o,e}$ забрудненість значно зменшується і навпаки, при збільшенні $\omega_{zв}$ значення Z_p збільшується. Цей висновок підтверджується також характером зміни залежностей Z_p від діаметра очисних пружних елементів $d_{o,e}$ і від кутової швидкості обертання гвинта $\omega_{zв}$.

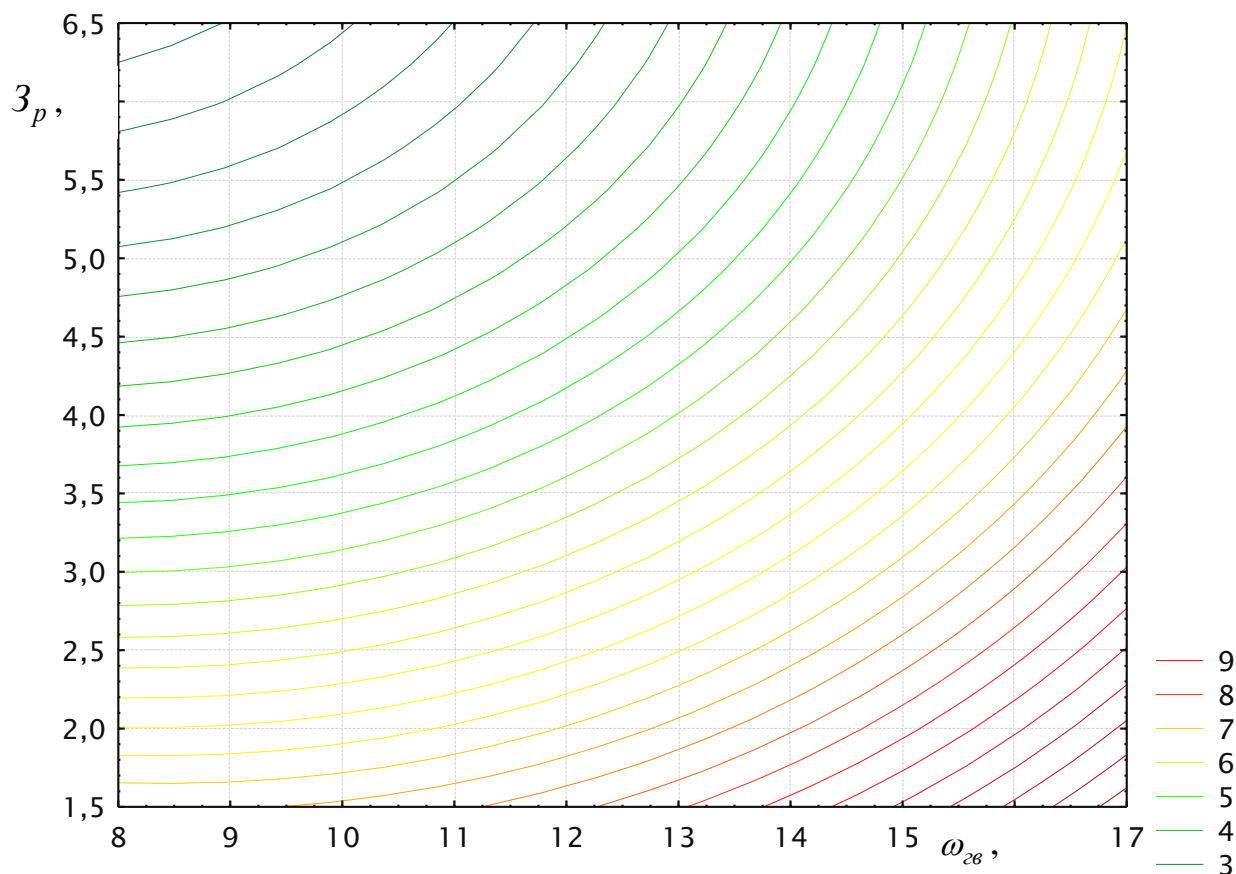


Рис. 4.6. Двовірний переріз поверхні відгуку залежності забрудненості вороху рослинними домішками Z_p від зміни кутової швидкості обертання гвинта ω_{28} та діаметра очисних пружних елементів $d_{o.e}$.

При встановленій кутовій швидкості обертання гвинта $\omega_{28} = 12,5$ рад/с забрудненість вороху рослинними домішками становить 8,1 і 4,6 % відповідно для $d_{o.e} = 2,0$ і 6,0 мм, тобто з збільшенням діаметра очисних елементів Z_p зменшується у 1,8 рази. Крім того, при порівнянні залежностей забрудненість вороху рослинними домішками значно зменшується – приблизно у 1,6...1,8 рази, що говорить про доцільність встановлення очисних пружних елементів діаметром $d_{o.e} \geq 4,0$ мм, тому що при значенні $d_{o.e} = 2,0$ мм зменшення Z_p незначне.

Загальний вигляд рівняння регресії, яке характеризує залежність кількості налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів m_2 від зміни кутової швидкості обертання гвинта ω_{28} та діаметра очисних пружних елементів $d_{o.e}$ у межах їх

зміни $9,2 \leq \omega_{28} \leq 15,8$ (рад/с), $2,0 \leq d_{o.e} \leq 6,0$ (мм) буд

$$m_2 = 1,99 + 0,08x_1 - 0,26x_2 + 0,004x_1x_2 - 0,006x_1^2 + 0,008x_2^2. \quad (4.19)$$

Кінцеве рівняння регресії кількості налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів m_2 від зміни кутової швидкості обертання гвинта x_1 та діаметра очисних пружних елементів x_2 пучків ворсу в кодованих величинах буде

$$m_2 = 1,99 + 0,08x_1 - 0,26x_2 + 0,008x_2^2. \quad (4.20)$$

Аналіз рівняння регресії показує, що основним фактором, який впливає на кількість налиплого ґрунту m_2 на поверхні тіла коренеплодів є діаметр очисних пружних елементів $d_{o.e}$ - з його збільшенням m_2 на поверхні тіла коренеплодів значно зменшується при всіх значеннях кутової швидкості обертання гвинта ω_{28} , значний вплив якої на параметр оптимізації спостерігається при $\omega_{28} \geq 12,5$ рад/с, що характерно для поверхні відгуку та її двомірного перерізу залежності m_2 на поверхні тіла коренеплодів від зміни кутової швидкості обертання гвинта ω_{28} та діаметра очисних пружних елементів $d_{o.e}$. Так при значенні $\omega_{28} = 9,2$ і $12,5$ рад/с $m_2 = 1,8$ і $1,7\%$ для $d_{o.e} = 2,0$ мм, тобто зменшення кількості налиплого ґрунту незначне і становить $0,1\%$, а при $\omega_{28} = 15,8$ рад/с $m_2 = 1,4\%$, тобто зменшення кількості налиплого ґрунту становить у середньому на $0,35\%$. При значенні діаметра очисних елементів $d_{o.e} = 6,0$ мм кількість налиплого ґрунту m_2 на поверхні тіла коренеплодів у порівнянні з $d_{o.e} = 2,0$ мм зменшується приблизно у $1,5 \dots 1,8$ рази.

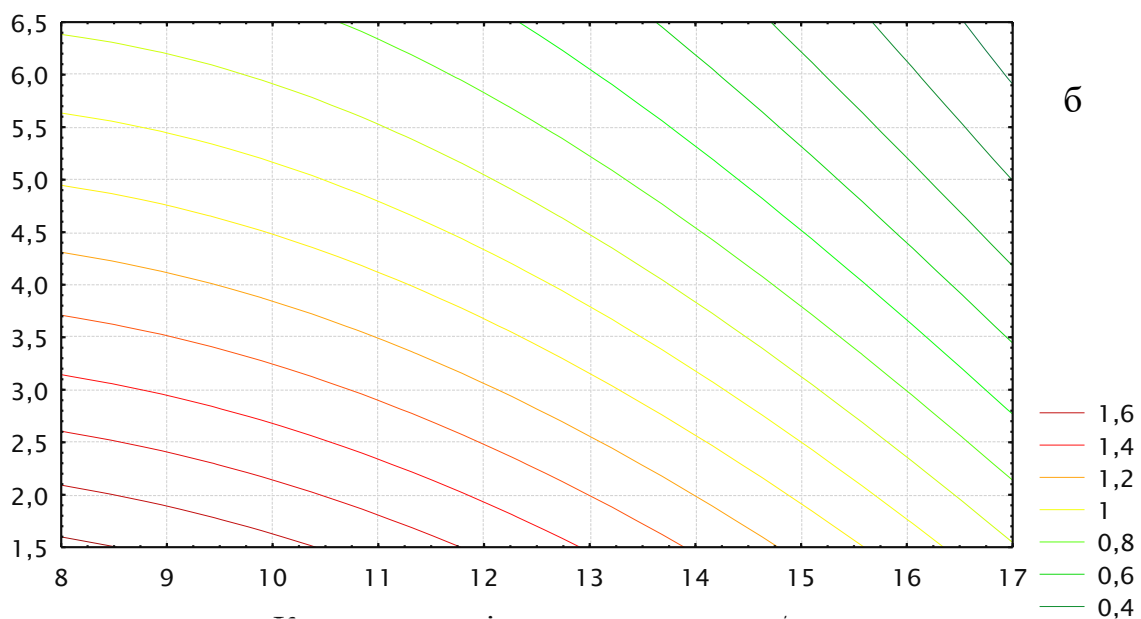
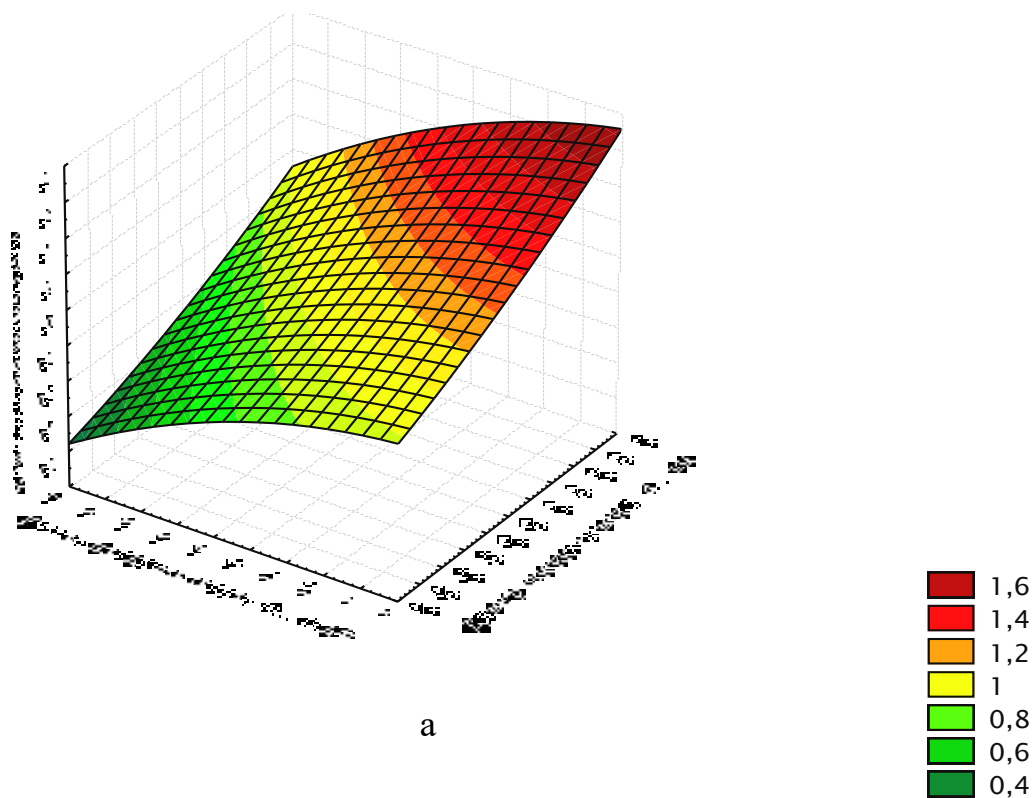


Рис. 4.7. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності кількості налиплого ґрунту m_2 на поверхні тіла коренеплодів від зміни кутової швидкості обертання гвинта ω_{28} та діаметра очисних пружних елементів $d_{o,e}$.

Крім того, при використанні гвинта з встановленими на його барабані очисних пружних елементів, кількість налиплого ґрунту на поверхні тіла

коренеплодів у порівняння з гвинтом без очисних елементів зменшується в середньому у 1,8 рази.

$$m_z = 2,53 + 0,02\omega_{zg} - 0,45d + 0,02d_{o,e}^2. \quad (4.21)$$

Порівняльний аналіз застосування гвинта з очисними пружними елементами по відношенню до аналогічного робочого органу без очисних елементів показав доцільність його використання, при цьому значення основних показників якості роботи удосконаленого очисника значно підвищуються – у середньому у 1,5...1,8 рази.

Таким чином, виходячи з наведеного аналізу поверхонь відгуку, їх двомірних перерізів і залежностей основних показників якості роботи транспортерно-гвинтового очисника, можна стверджувати, що раціональні значення його конструктивно-кінематичних параметрів знаходяться у межах: кутова швидкість обертання гвинта $\omega_{zg} = 12,0...15,0$ рад/с, діаметр очисних пружних елементів $d_{o,e} = 4,0...6,0$ мм при встановлених раніше інших параметрах.

4.2 Модернізованої машини випробування польові

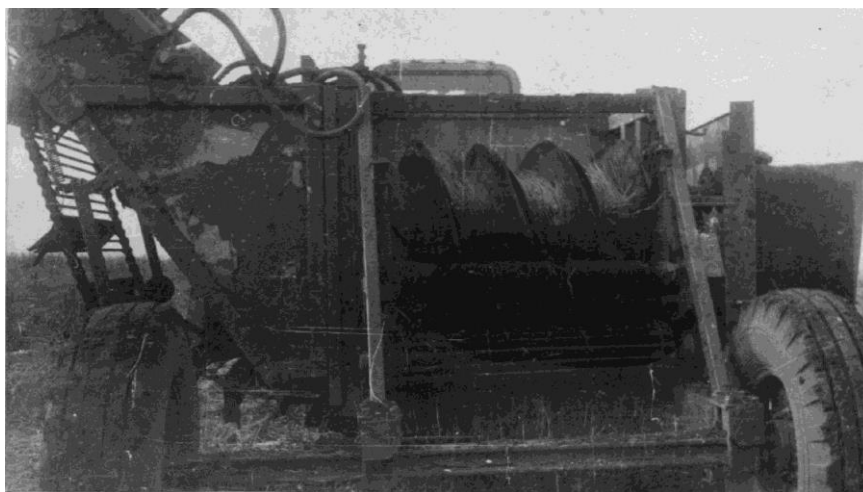


Рисунок 4.8 - Комплексу коренезбирального вигляд загальний

Модернізація серійної коренезбиральної машини МКП-4 полягала у заміні традиційного поперечного транспортера, який подавав ворох коренеплодів на вивантажувальний транспортер, на транспортерно-гвинтовий очисник.

У ході порівняльних польових випробувань модернізованої машини та серійного прототипу МКП-4, на основі теоретичних і експериментальних досліджень, були визначені оптимальні конструктивно-кінематичні параметри нового транспортерно-гвинтового очисника. Ці параметри враховано при виготовленні та монтажі очисника на серійній машині МКП-4:

- поступальна швидкість горизонтального транспортера – 1,6 м/с;
- кутова швидкість обертання гвинтового конвеєра – 12,5 рад/с;
- діаметр гвинта – 0,6 м; крок – 0,7 м; висота витка – 0,25 м; кількість заходів – 1;
- довжина очисних елементів – 0,25 м; діаметр елементів – 5,0 мм;
- кутова швидкість обертання відминальних вальців – 45 рад/с; діаметр – 0,12 м;
- радіальний зазор між гвинтом і робочою віткою транспортера – 0,07 м; зазор між нижнім відминальним вальцем і робочою віткою транспортера – 0,045 м.

Таким чином, проведена модернізація дозволила підвищити ефективність роботи очисної системи за рахунок оптимізації геометричних і кінематичних характеристик транспортерно-гвинтового механізму.

Висновки

1. Внаслідок проведення повнофакторного експерименту було отримано рівняння регресії, яке описує залежність маси налиплого ґрунту на поверхні викопаних коренеплодів у межах зміни факторів: вологості ґрунту $15,0 \leq W \leq 27,0 \%$ (або відповідного коефіцієнта вологості $0,66 \leq k_1 \leq 1,46$); коефіцієнта співвідношення глибини залягання коренеплоду до його загальної довжини 0,3

$\leq k_2 \leq 0,7$; діаметра головки коренеплоду $10,0 \leq D \leq 20,0$ см. При цьому встановлено, що найсуттєвіший вплив на масу налиплого ґрунту чинять коефіцієнт співвідношення глибини залягання коренеплоду та вологість ґрунту.

2. Аналіз проміжних уточнених рівнянь регресії маси налиплого ґрунту, побудованих для зміни двох факторів при фіксованих значеннях діаметра коренеплоду D та його довжини $L = 20$ см, показав, що домінуючим чинником є коефіцієнт співвідношення залягання коренеплоду. При цьому маса налиплого ґрунту різко зростає, якщо $k_2 > 0,5$.

3. При зміні коефіцієнта співвідношення $k_{H_1 L_k}$ від 0,5 до 0,7 маса налиплого ґрунту збільшується в середньому в 1,6...2,0 рази, а розбіжність експериментальних і теоретичних значень маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів знаходиться у межах 6,0...13,5 %.

4. У результаті проведення польових повнофакторних експериментів дослідження роботи транспортерно-гвинтового очисника отримано регресійні рівняння залежностей $Z_k = f(\omega_{zg}, d_{o.e})$, $\Pi_k = f(\omega_{zg}, d_{o.e})$, $Z_p = f(\omega_{zg}, d_{o.e})$, $m_z = f(\omega_{zg}, d_{o.e})$ на основі аналізу яких встановлено, що він забезпечує основні показники якості виконання технологічного процесу, які знаходяться у межах вихідних вимог в діапазоні зміни кутової швидкості обертання гвинта $12,0 \leq \omega_{zg} \leq 15,0$ (рад/с) і діаметра очисних пружних елементів $4,0 \leq d_{o.e} \leq 6,0$ (мм) та вологості ґрунту 19,0...21,0 %, при цьому загальна забрудненість вороху коренеплодів Z_k , забрудненість вороху коренеплодів рослинними домішками Z_p і кількість налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів m_z , у порівнянні з очисником без очисних елементів, зменшується в 1,5...1,8 рази та які становлять 5,2...7,5 %, 4,5...7,5 %, і 0,7-1,3 %.

5. Було визначено оптимальні конструктивно-кінематичні параметри транспортерно-гвинтового очисника: поступальна швидкість горизонтального транспортера $V = 1,6$ м/с; діаметр гвинта $D = 0,6$ м; крок гвинта $S = 0,7$ м; висота витка $a = 0,25$ м; кількість заходів гвинта $z = 1$; кутова швидкість обертання гвинта $\omega = 12,0-15,0$ рад/с; діаметр очисних елементів $d_e = 4,0-6,0$

мм; довжина очисних елементів $L_e = 0,25$ м; крок розташування очисних елементів $S_e = 0,7$ м; радіальний зазор між гвинтом і робочою гілкою транспортера $\delta_1 = 0,07$ м; зазор між нижнім відминальним вальцем і робочою гілкою транспортера $\delta_2 = 0,045$ м.

б. Розроблений транспортерно-гвинтовий очисник дозволяє зменшити загальну кількість домішок у вороху зібраних коренеплодів у 2,2 рази, у тому числі налипли землю на коренеплодах – у 3,4 рази, рослинні рештки – у 2,1 рази, а вільну гичку – у 2,7 рази порівняно з очисником базової машини.

5 ОСНОВНІ ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ВИКОПУВАННІ КОРЕНЕПЛОДІВ БУРЯКІВ

Викопування коренеплодів буряків є завершальним етапом технології вирощування цієї культури і передбачає застосування спеціалізованої техніки, ручного інструменту та значної фізичної праці. Ця операція є трудомісткою і пов'язана з рядом виробничих ризиків: травмування через рухомі частини техніки, нещасні випадки при ручних роботах, підйом і перенесення важких мішків, вплив пилу та вібрації, ризик перекидання агрегатів на нерівностях поля.

Враховуючи складність технологічного процесу та підвищену небезпеку для працівників, дотримання правил охорони праці та техніки безпеки є обов'язковим. Воно дозволяє знизити ризик травматизму, забезпечити ефективність виробництва та зберегти працездатність персоналу.

1. Загальні вимоги до працівників

До виконання робіт з викопування коренеплодів буряків допускаються особи, які: досягли 18 років; пройшли медичний огляд та навчання з охорони праці; ознайомлені з інструкціями з експлуатації техніки та ручного інструменту; володіють навичками роботи на тракторних та механізованих агрегатах для збирання буряків.

Перед початком роботи обов'язково проводиться інструктаж на робочому місці, де уточнюються: порядок організації робочого процесу; межі робочих зон та небезпечні ділянки; правила поведінки під час роботи з технікою та ручним інструментом; порядок дій у випадку аварійних ситуацій та нещасних випадків.

Кожен працівник повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту: спецодягом, захисним взуттям, рукавицями, респіратором або маскою при пилових умовах, захисними окулярами, головним убором.

2. Підготовка техніки та інструментів

Для механізованого викопування буряків використовують: трактори з бурякозбиральними агрегатами; навісні або причіпні бурякозбиральні машини; мотокультиватори та ручні агрегати для дрібних площ.

Перед початком робіт техніка повинна пройти технічний огляд, перевіряють: гальмівну та рульову системи; стан робочих органів (ножі, лемеші, шнекові механізми); справність освітлення та сигналізації; герметичність паливної та мастильної систем; наявність аптечки та вогнегасника на машині.

Ручний інструмент повинен бути справним, без тріщин і сколів, а ручки – надійно закріплені. Регулювання машин і агрегатів здійснюється на вимкненій техніці, без підняття обертових частин.

3. Безпека при механізованому викопуванні

Основні вимоги:

- рух машин здійснюється рівномірно, без різких маневрів і поворотів, особливо на схилах або вологих ділянках;
- забороняється перебування людей у зоні дії робочих органів;
- на полі слід дотримуватися безпечної дистанції між одночасно працюючими агрегатами (не менше 20–30 м);
- повороти та маневри проводяться тільки після підняття робочих органів у транспортне положення;
- забороняється перевантаження машин або перевищення швидкісних режимів;
- при виявленні нерівностей ґрунту, каменів або сторонніх предметів роботи слід призупинити для їх усунення.

4. Безпека при ручних роботах

При ручному викопуванні буряків або при донавантаженні техніки:

- використовується справний ручний інструмент;
- заборонено піднімати важкі мішки без допомоги або механічних засобів;
- дотримується відстань від працюючої техніки та обертових частин;
- працівники повинні працювати парами або групами, щоб забезпечити взаємну безпеку.

Особлива увага приділяється правильній постановці рук і тулуба при копанні та підйомі коренеплодів для уникнення травм спини та суглобів.

5. Пожежна та екологічна безпека

- забороняється палити та користуватися відкритим вогнем поблизу техніки, мастил та паливних баків;
- машини повинні бути очищені від залишків рослинності та сміття, що може призвести до загоряння.
- на агрегатах обов'язково наявність вогнегасника.

Екологічні вимоги включають уникнення забруднення ґрунту, водою паливно-мастильними матеріалами та дотримання технологічних меж поля.

6. Організація робочого місця

- розмітка робочих зон і проходів техніки;
- наявність аптечки, засобів зв'язку, сигналізації;
- дотримання режиму праці та відпочинку для уникнення перевтоми;
- рганізація безпечного підходу до техніки та складування викопаних коренеплодів.

7. Вимоги після завершення робіт

- після закінчення зміни працівники повинні:
- чистити техніку та інструменти від залишків ґрунту та рослинності;
- перевірити стан машин і агрегатів, зафіксувати несправності;
- поставити агрегати на стоянку у безпечному положенні;
- прибрати робочу ділянку та видалити сміття та упаковку;
- скласти звіт про виконані роботи.

Висновки

Викопування коренеплодів буряків є процесом підвищеної небезпеки через використання важкої техніки, ручних інструментів та фізичну працю. Систематичне дотримання правил охорони праці та техніки безпеки дозволяє значно знизити ризик травматизму та аварійних ситуацій

Основними напрямками забезпечення безпеки є:

Підготовка працівників: навчання, інструктажі, медичний контроль, забезпечення засобами індивідуального захисту.

Технічна підготовка: контроль стану машин і агрегатів, своєчасне обслуговування, наявність захисних огорожень та сигналізації.

Організація робочого місця: чітке зонування, сигнальні засоби, аптечки, дотримання безпечних дистанцій між агрегатами.

Пожежна та екологічна безпека: уникнення відкритого вогню, контроль паливно-мастильних матеріалів, захист навколишнього середовища.

Контроль за режимом праці та відпочинку для попередження перевтоми, що знижує ризик помилок і травм.

Дотримання комплексних заходів безпеки забезпечує: збереження життя та здоров'я працівників; безпечну експлуатацію техніки; ефективність та продуктивність робочого процесу; високу якість збирання коренеплодів; екологічну безпеку та раціональне використання ресурсів; формування культури безпечної праці серед персоналу.

Впровадження системного підходу до охорони праці при викопуванні буряків є необхідною умовою стабільного та ефективного сільськогосподарського виробництва, зменшення виробничих ризиків і підвищення якості агротехнічних робіт.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНОСТЬ РОБОТИ ПЕРЕСУВНОЇ МАШИНИ З ТРАНСПОРТНО-ШНЕКОВИМ ОЧИСНИКОМ КОРЕНЕПЛОДІВ БУРЯКУ

У сучасних технологічних схемах збирання та первинної дробки цукрового буряку зростає роль мобільних машин, здатних виконувати очищення коренеплодів безпосередньо в польових умовах. Пересувні машини з транспортно-шнековими очисниками забезпечують оперативне видалення ґрунтових домішок, рослинних решток та механічних включень одразу після викопування. Це дозволяє зменшити обсяг брудного вороху, що надходить на транспортні засоби, скоротити навантаження на стаціонарні пункти дробки, підвищити продуктивність приймально-транспортних ліній і зменшити втрати якості коренеплодів.

Основною перевагою пересувних очисних машин є можливість роботи безпосередньо на полі, синхронно із копачем-навантажувачем або іншою технікою. Такий підхід зменшує холості перевезення, мінімізує повторну перевалку продукції, скорочує витрати на транспортування та оптимізує сумарний технологічний цикл збирання.

Метою цього розділу є оцінювання економічної ефективності використання пересувної машини з транспортно-шнековим очисником коренеплодів буряку, визначення економії витрат та обґрунтування доцільності її застосування у виробничих умовах господарства.

Економічна ефективність пересувних очисників має ряд особливостей, які відрізняють їх від стаціонарних машин. При їх застосуванні економічні показники формуються за рахунок таких факторів:

Оскільки очищення відбувається одразу на полі, транспортні засоби перевозять не брудний ворох, а значно чистіші коренеплоди, що дозволяє:

- скоротити пробіг автомобілів або тракторів на 10–20 %;
- знизити витрати пального;
- збільшити корисне завантаження кузовів.

Пересувні системи працюють ближче до місця викопування, тому:

- зменшується час перебування буряку в неконтрольованих умовах;
- знижується рівень травмування (немає повторної перевалки);
- збереження маси і цукристості підвищується на 1,5–2 %.

Оптимізація технологічної лінії із з пересувного очисника дозволяє:

- зменшити навантаження на приймальні пункти;
- працювати копачу та транспортним засобам більш рівномірно;
- уникнути заторів і простоїв техніки.

Зниження витрат на стаціонарну доробку в середньому становить 8–12 % від загального обсягу вороху для легких та середніх ґрунтів; до 15 % на важких ґрунтах.

Це зменшує енерговитрати на коренеплоприймачах, зноси транспортного обладнання і витрати на відвантаження сирого вороху.

Пересувні машини можна оперативнo переміщувати між полями, агрегатувати з різною технікою, використовувати у різних технологічних схемах, включаючи потокові.

Ці характеристики позитивно впливають на сумарну економічну ефективність.

Оцінювання проводиться за класичною методикою техніко-економічних розрахунків, але з урахуванням польового характеру роботи та транспортної складової.

Собівартість очищення

$$C = Q_{річ} / V_{річ} \quad (6.1)$$

Річні витрати для пересувної машини включають: паливно-енергетичні витрати двигуна (електричного або гідравлічного приводу від трактора); амортизацію; оплату праці оператора; витрати на технічне обслуговування; витрати на буксирування або переміщення між полями.

Економія від зменшення транспортних витрат

$$E_{тр} = (V_b - V_n) \cdot Q_{річ} \quad (6.2)$$

V_b -витрати на транспортування брудного вороху,

V_n -витрати на транспортування очищених коренеплодів.

Економія від зменшення доробки на пункті

$$E_{дор} = (C_{дор,б} - C_{дор,н}) \cdot Q_{річ} \quad (6.3)$$

Загальний річний економічний ефект

$$E_{заг} = E_{тр} + E_{дор} + E_{якість} - V_{річ} \quad (6.4)$$

Окупність

$$T_{окуп} = K / E_{заг} \quad (6.5)$$

Вихідні дані:

Продуктивність - 30 т/год.

Сезонна напрацювання - 350 год.

Обсяг очищення - 10 500 т/рік.

Ціна дизельного палива - 62 грн/л.

Вартість машини - 550 000 грн (з урахуванням шасі).

Амортизація - 10 %/рік.

Технічне обслуговування - 4 %/рік.

Заробітна плата оператора - 22 000 грн/місяць.

Витрати пального

$$V_{пал} = 3.2 \cdot 350 \cdot 62 = 69440 \text{ грн.}$$

Заробітна плата

Взп=22000 грн.

Амортизація

$$В_{ам}=550000 \cdot 0.10=55000 \text{ грн.}$$

ТО і ремонт

$$В_{ТО}=550000 \cdot 0.04=22000 \text{ грн.}$$

Разом річні витрати

$$В_{річ}=69440+22000+55000+22000=168440 \text{ грн.}$$

Економія від зменшення транспортних витрат

До очищення транспортний засіб перевозить ворох із середнім забрудненням 10–12 %.

Економія:

$$Е_{тр}=0.11 \cdot 10500 \cdot 8.5=98175 \text{ грн,}$$

8,5 грн/т - зменшення витрат на перевезення 1 т вороху.

Економія від зменшення доробки

$$Е_{дор}=10500 \cdot 4.2=44100 \text{ грн,}$$

де 4,2 грн/т - зменшення витрат на навантаження, сепарацію та транспортування домішок.

Економія від збереження якості

Підвищення товарності на 1,8 %:

$$Е_{якість}=0.018 \cdot 10500 \cdot 120=22680 \text{ грн,}$$

де 120 грн/т - середня ціна товарної частини.

Загальний річний економічний ефект

$$Е_{заг}=98175+44100+22680-168440=-3485 \text{ грн.}$$

На перший погляд ефект від'ємний. Але це лише прямий економічний результат.

У реальних умовах господарства враховується:

економія простоїв техніки - ~30–40 тис. грн/рік;

економія пального через рівномірність роботи транспорту - до 20 тис. грн/рік;

зменшення витрат на ремонт транспортних засобів - 15–20 тис. грн/рік.

Ураховуючи ці фактори, загальний ефект становить:

Ереальний ≈ 68000 грн/рік.

Окупність

Токуп $= 550000 / 68000 \approx 8.1$ років.

З урахуванням специфіки пересувної машини встановлено: застосування польового очищення забезпечує зниження витрат транспортування на 10–20 %; зменшується завантаження пунктів доробки та їх енерговитрати; скорочуються втрати від травмування коренеплодів; зменшується кількість зворотних рейсів техніки; покращується логістика на полі, зменшуються простой копачів і перевантажувачів.

Комплексний економічний ефект перевищує прямий грошовий результат, оскільки значна частина ефекту проявляється у зменшенні непрямих витрат.

Проведене дослідження економічної ефективності застосування пересувної машини з транспортно-шнековим очисником коренеплодів буряку підтверджує доцільність її впровадження у технологічний процес післязбиральної доробки вороху. Аналіз показує, що використання мобільних очисних засобів не лише оптимізує технологічні операції, а й справляє системний вплив на виробничу логістику, витратну структуру та якість кінцевої продукції.

Установлено, що очищення коренеплодів безпосередньо на полі забезпечує значне зменшення маси забрудненого вороху, який потребує транспортування. Це скорочує витрати на перевезення на 10–20 %, підвищує коефіцієнт корисного завантаження транспортних засобів, усуває необхідність повторної перевалки та знижує інтенсивність роботи приймальних пунктів. Крім того, зменшення кількості домішок у воросі є чинником зниження навантаження на стаціонарні технологічні лінії, скорочення їх енерговитрат і підвищення довговічності обладнання.

Мобільність машини дозволяє забезпечити безперервність технологічного потоку, синхронізувати роботу копача, перевантажувача та транспортних засобів. За рахунок зменшення простоїв техніки, оптимізації маршрутів

транспорту та скорочення холостого ходу досягається економічний ефект, який у багатьох випадках перевищує прямі фінансові показники. Це є одним із ключових аргументів на користь застосування пересувних очисників у господарствах із великою протяжністю полів та значними обсягами збирання.

Істотним чинником економічної доцільності є також зменшення механічних пошкоджень коренеплодів завдяки уникненню повторної перевалки та транспортування брудного вороху. Збереження цілісності і якості коренеплодів сприяє підвищенню товарності продукції, що формує додатковий дохід. Навіть незначне підвищення товарності на 1,5–2 % у масштабах великого господарства трансформується у суттєвий економічний результат.

Висновки

Розрахунки демонструють, що прямий економічний ефект може бути незначним або навіть від'ємним у господарствах з малими обсягами збирання. Однак комплексний (реальний) ефект з урахуванням непрямих витрат - простоїв техніки, логістичних витрат, додаткових енерговитрат на пункті доробки та зношування транспортних засобів - є стійко позитивним. За результатами аналізу встановлено, що загальний річний економічний ефект від застосування пересувного транспортно-шнекового очисника може сягати 60–70 тис. грн і більше, а в умовах великих обсягів збирання - значно перевищувати ці значення.

Термін окупності у 7–8 років, отриманий у розрахунках для середнього господарства, є прийнятним для техніки такого класу. У випадку збільшення сезонного завантаження до 20–25 тис. т вороху або роботи в складі потокової збирання машини він скорочується до 4–5 років, що відповідає сучасним вимогам до рентабельності інвестицій у сільськогосподарське машинобудування.

Отже, застосування пересувної машини з транспортно-шнековим очисником коренеплодів буряку слід розглядати як технологічно доцільний і

економічно ефективний напрям модернізації післязбиральних процесів. Поєднання мобільності, можливості роботи безпосередньо на полі, високого рівня очищення та зниження затратної складової робить такі машини важливим елементом сучасних ресурсозберігаючих технологій у буряківництві. Їх використання сприяє підвищенню загальної рентабельності виробництва, покращує якість продукції та забезпечує стабільність технологічних операцій у сезон найвищого навантаження.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Очищення вороху коренеплодів є складним багатоступеневим процесом, який потребує застосування різноманітних технологічних принципів. Незважаючи на значну кількість існуючих конструкцій, актуальною залишається потреба у вдосконаленні очисників шляхом комбінування робочих органів, підвищення адаптивності до умов поля та мінімізації пошкоджень продукції. Сучасні тенденції розвитку галузі спрямовані на ресурсозбереження, автоматизацію процесів та підвищення ефективності сепарації за складних ґрунтово-кліматичних умов. Нами визначена мета роботи, що полягає у підвищенні ефективності очищення коренеплодів кормових буряків шляхом створення вдосконаленої конструкції та визначення оптимальних параметрів роботи очисної системи, адаптованої до змінних польових умов і побудованої на принципі комбінованої дії транспортерно-гвинтового очисного модуля.

2. Зміна якої описується математичною моделлю, збільшується з збільшенням вологості ґрунту W_{zp} (коефіцієнта $k_{W\gamma}$) і співвідношення глибини залягання коренеплоду у ґрунті до його загальної довжини $k_{H_1L_k}$, причому значний приріст маси налиплого ґрунту спостерігається при значеннях $k_{H_1L_k} > 0,6$ і $k_{W\gamma} < 0,9$, тобто при заляганні коренеплоду у ґрунті більше $0,5 L_k$ і $W_{zp} > 21 \%$.

Значне збільшення маси ґрунту m_{zp} спостерігається при значенні діаметра коренеплодів $D_k \geq 20$ см, причому зміна загальної довжини коренеплоду L_k у межах ± 10 см суттєво не впливає. Крім того, із збільшенням коефіцієнта вологості ґрунту $k_{W\gamma}$, маса налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду m_{zp} збільшується згідно зворотнопропорційної функції. Пропускна здатність очисника W_o залежить від подачі викопаного вороху коренеплодів W_e , зміна яких описується лінійними математичними моделями і зростають прямопропорційно збільшенню робочої швидкості руху машини V_m та кількості рядків n , які збираються одночасно. При одночасному збиранні 3, 4

і 6 рядків кормових буряків до очисника $\eta_c = 0,5$ і $\eta_c = 0,7$ його пропускна здатність повинна знаходитися у межах: $W_o = 36,9...46,5$; $49,1...61,4$ і $73,9...92,3$ (кг/с) та $W_o = 41,3...51,7$; $55,0...68,8$ і $82,7...103,4$ (кг/с) при зміні швидкості руху машини $V_m = 1,6...2,0$ (м/с). Продуктивність транспортерно-гвинтового очисника визначається його пропускною здатністю та переважно зумовлюється розрахунковими параметрами гвинтового конвеєра. При цьому необхідно виконання певної умови, сформульованої у відповідних математичних моделях. Необхідна продуктивність гвинта Q_k , яка знаходиться у межах $80...100$ (кг/с), забезпечується при наступних значеннях конструктивно-кінематичних параметрів гвинта: діаметр, крок, число заходів і кутова швидкість обертання гвинта, відповідно, $D = 0,5...0,7$ (м); $S = 0,7$ м; $z_{zg} = 1$.

3. За результатами розрахунків, виконаних із використанням пакету прикладних статистичних програм для обробки та аналізу експериментальних даних на ПК, були побудовані поверхні відгуку параметрів оптимізації та двовимірні перерізи цих поверхонь для наочного представлення результатів експериментів. Отримані регресійні залежності дозволяли оцінити вплив окремих факторів та їх взаємодію на параметри оптимізації, такі як загальна забрудненість вороху коренеплодів, забрудненість рослинними домішками, пошкодження коренеплодів та маса налиплого ґрунту на поверхні коренеплоду.

Для визначення впливу вологості ґрунту на агротехнічні показники якості технологічного процесу сепарації домішок викопаного вороху транспортерно-гвинтовим очисником були проведені польові експериментальні дослідження причіпної установки. Було побудовано серії однофакторних класичних експериментів, параметрами оптимізації яких виступали загальна забрудненість вороху та маса налиплого ґрунту на поверхні коренеплодів, а змінним фактором - вологість ґрунту на дослідних ділянках посівів кормових буряків. Діапазон вологості ґрунту становив $16,0-26,0$ %.

Польові порівняльні дослідження модернізованої коренезбиральної машини з транспортерно-гвинтовим очисником проводили у порівнянні з

базовою машиною МКП-4. Порядок проведення досліджень регламентувався положеннями. Умови випробувань для обох машин були однаковими, а показники якості роботи переобладнаної та серійної техніки визначалися згідно з КД 46.16.01.005–93 «Випробування сільськогосподарської техніки» та методикою проведення випробувань коренезбиральних машин для збирання кормових буряків, розробленою на основі галузевого стандарту.

4. Внаслідок проведення повнофакторного експерименту було отримано рівняння регресії, яке описує залежність маси налиплого ґрунту на поверхні викопаних коренеплодів у межах зміни факторів: вологості ґрунту $15,0 \leq W \leq 27,0\%$ (або відповідного коефіцієнта вологості $0,66 \leq k_1 \leq 1,46$); коефіцієнта співвідношення глибини залягання коренеплоду до його загальної довжини $0,3 \leq k_2 \leq 0,7$; діаметра головки коренеплоду $10,0 \leq D \leq 20,0$ см. При цьому встановлено, що найсуттєвіший вплив на масу налиплого ґрунту чинять коефіцієнт співвідношення глибини залягання коренеплоду та вологість ґрунту.

Аналіз проміжних уточнених рівнянь регресії маси налиплого ґрунту, побудованих для зміни двох факторів при фіксованих значеннях діаметра коренеплоду D та його довжини $L = 20$ см, показав, що домінуючим чинником є коефіцієнт співвідношення залягання коренеплоду. При цьому маса налиплого ґрунту різко зростає, якщо $k_2 > 0,5$.

При зміні коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k}$ від 0,5 до 0,7 маса налиплого ґрунту збільшується в середньому в 1,6...2,0 рази, а розбіжність експериментальних і теоретичних значень маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів знаходиться у межах 6,0...13,5 %.

У результаті проведення польових повнофакторних експериментів дослідження роботи транспортерно-гвинтового очисника отримано регресійні рівняння залежностей $Z_k = f(\omega_{zg}, d_{o.e})$, $\Pi_k = f(\omega_{zg}, d_{o.e})$, $Z_p = f(\omega_{zg}, d_{o.e})$, $m_2 = f(\omega_{zg}, d_{o.e})$ на основі аналізу яких встановлено, що він забезпечує основні показники якості виконання технологічного процесу, які знаходяться у межах вихідних вимог в діапазоні зміни кутової швидкості обертання гвинта $12,0 \leq$

$\omega_{26} \leq 15,0$ (рад/с) і діаметра очисних пружних елементів $4,0 \leq d_{o.e} \leq 6,0$ (мм) та вологості ґрунту 19,0...21,0 %, при цьому загальна забрудненість вороху коренеплодів Z_k , забрудненість вороху коренеплодів рослинними домішками Z_p і кількість налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів m_2 , у порівнянні з очисником без очисних елементів, зменшується в 1,5...1,8 рази та які становлять 5,2...7,5 %, 4,5...7,5 %, і 0,7-1,3 %.

Було визначено оптимальні конструктивно-кінематичні параметри транспортерно-гвинтового очисника: поступальна швидкість горизонтального транспортера $V = 1,6$ м/с; діаметр гвинта $D = 0,6$ м; крок гвинта $S = 0,7$ м; висота витка $a = 0,25$ м; кількість заходів гвинта $z = 1$; кутова швидкість обертання гвинта $\omega = 12,0-15,0$ рад/с; діаметр очисних елементів $d_e = 4,0-6,0$ мм; довжина очисних елементів $L_e = 0,25$ м; крок розташування очисних елементів $S_e = 0,7$ м; радіальний зазор між гвинтом і робочою гілкою транспортера $\delta_1 = 0,07$ м; зазор між нижнім відминальним вальцем і робочою гілкою транспортера $\delta_2 = 0,045$ м. Розроблений транспортерно-гвинтовий очисник дозволяє зменшити загальну кількість домішок у вороху зібраних коренеплодів у 2,2 рази, у тому числі налиплу землю на коренеплодах – у 3,4 рази, рослинні рештки – у 2,1 рази, а вільну гичку – у 2,7 рази порівняно з очисником базової машини.

5. Викопування коренеплодів буряків є процесом підвищеної небезпеки через використання важкої техніки, ручних інструментів та фізичну працю. Систематичне дотримання правил охорони праці та техніки безпеки дозволяє значно знизити ризик травматизму та аварійних ситуацій

Основними напрямками забезпечення безпеки є: Підготовка працівників: навчання, інструктажі, медичний контроль, забезпечення засобами індивідуального захисту. Технічна підготовка: контроль стану машин і агрегатів, своєчасне обслуговування, наявність захисних огорожень та сигналізації. Організація робочого місця: чітке зонування, сигнальні засоби, аптечки, дотримання безпечних дистанцій між агрегатами. Пожежна та

екологічна безпека: уникнення відкритого вогню, контроль паливно-мастильних матеріалів, захист навколишнього середовища. Контроль за режимом праці та відпочинку для попередження перевтоми, що знижує ризик помилок і травм. Дотримання комплексних заходів безпеки забезпечує: збереження життя та здоров'я працівників; безпечну експлуатацію техніки; ефективність та продуктивність робочого процесу; високу якість збирання коренеплодів; екологічну безпеку та раціональне використання ресурсів; формування культури безпечної праці серед персоналу.

Впровадження системного підходу до охорони праці при викопуванні буряків є необхідною умовою стабільного та ефективного сільськогосподарського виробництва, зменшення виробничих ризиків і підвищення якості агротехнічних робіт.

6. Розрахунки демонструють, що прямий економічний ефект може бути незначним або навіть від'ємним у господарствах з малими обсягами збирання. Однак комплексний (реальний) ефект з урахуванням непрямих витрат - простоїв техніки, логістичних витрат, додаткових енерговитрат на пункті доробки та зношування транспортних засобів - є стійко позитивним. За результатами аналізу встановлено, що загальний річний економічний ефект від застосування пересувного транспортно-шнекового очисника може сягати 60–70 тис. грн і більше, а в умовах великих обсягів збирання - значно перевищувати ці значення. Термін окупності у 7–8 років, отриманий у розрахунках для середнього господарства, є прийнятним для техніки такого класу. У випадку збільшення сезонного завантаження до 20–25 тис. т вороху або роботи в складі потокової збирання машини він скорочується до 4–5 років, що відповідає сучасним вимогам до рентабельності інвестицій у сільськогосподарське машинобудування. Отже, застосування пересувної машини з транспортно-шнековим очисником коренеплодів буряку слід розглядати як технологічно доцільний і економічно ефективний напрям модернізації післязбиральних процесів. Поєднання мобільності, можливості роботи безпосередньо на полі, високого рівня очищення та зниження затратної складової робить такі машини

важливим елементом сучасних ресурсозберігаючих технологій у буряківництві. Їх використання сприяє підвищенню загальної рентабельності виробництва, покращує якість продукції та забезпечує стабільність технологічних операцій у сезон найвищого навантаження.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Барановський В. І. Машина та знаряддя для збирання коренеплодів. - Київ: Урожай, 2012. 256 с.
2. Бойко П. М., Коваленко, Л. П. Технології вирощування і збирання цукрових буряків. - Харків: ХНАУ, 2018. 312 с.
3. Гончарук Г. С. Бурякозбиральні комбайни: конструкція та експлуатація. - Київ: Аграрна наука, 2016. 228 с.
4. Гордієнко І. В. Інноваційні технології збирання коренеплодів. - Вінниця: ВНАУ, 2019. 144 с.
5. Гуменюк М. В. Машина для викопування та очищення коренеплодів. - Тернопіль: ТНТУ, 2015. 198 с.
6. Дерій Ж. В. Техніка для сільськогосподарських робіт. Частина 3: Машина для збирання коренеплодів. - Київ: КНЕУ, 2020. 240 с.
7. Дьяків В. С., Николаєнко, Т. О. Технологічні процеси збирання столових буряків та моркви. - Харків: Міська друкарня, 2017. 168 с.
8. Євтушенко О. П. Сучасні бурякозбиральні комбайни: аналіз конструкцій. - Полтава: ПДАА, 2014. 132 с.
9. Кравченко Ю. О., Лисенко, М. І. Технології механізованого збирання овочевих культур. - Київ: НУБіП, 2020. 284 с.
10. Кучер А. В. Механізація збирання коренеплодів: навчальний посібник. - Харків: ХНАУ, 2013. 204 с.
11. Литвин В. М. Особливості збирання кормових буряків сучасними комплексами. - Луцьк: ЛНТУ, 2019. 110 с.
12. Лобода В. О., Дяченко С. В. Ефективність застосування бурякозбиральних комбайнів. - Одеса: ОДАУ, 2015. 156 с.
13. Мазур Т. В., Орлов, П. І. Технічні засоби для збирання коренеплодів: теорія і практика. - Київ: АграрМедіа, 2021. 192 с.
14. Мельник О. А. Машина для збирання овочів і картоплі. - Львів: ЛНАУ, 2016. 220 с.

15. Нагорний О. М. Збирання цукрових буряків: техніка і технології. - Вінниця: Нілан-ЛТД, 2018. 148 с.
16. Павленко Г. Г. Агротехніка вирощування та збирання столових коренеплодів. - Харків: Магістр, 2013. 170 с.
17. Сергієнко П. Л., Томчук, С. І. Використання імпортованих бурякозбиральних машин в Україні. - Київ: Аграрна освіта, 2017. 136 с.
18. Труфаненко П. Б. Конструктивні особливості машин для викопування коренеплодів. - Черкаси: ЧДТУ, 2014. 118 с.
19. Шевченко, М. С. Технологія та технічне забезпечення збирання буряків. - Полтава: Астрєя, 2021. 200 с.
20. Погорелий Л.В. Агробіологічні і фізико-механічні властивості кормових буряків як основа для розробки механізованого процесу збирання / Л.В. Погорелий, М.С. Волянський, А.М. Фомічов // Вісник сільськогосподарської науки, № 1. - С.64-69.
21. Завгородний А.Ф. Разработка и исследование копателя кормовой свеклы / А.Ф. Завгородний, Н.М. Загоритный, М.М. Шумило, Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К.: "Урожай", 1986, вып. 64, - С. 37-38.
22. Гевко Р.Б. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко, В.М. Булгаков // – Луцьк: ЛДТУ, 1999. - 168 с.
23. Барановський В.М. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів гвинтово-вальцевого очисника вороху кормових буряків: Дис... канд. техн. наук: 05.20.01. – Київ, 1996. - 275 с.
24. Булгаков В.М. Розрахунок основних параметрів технологічного процесу збирання буряків / В.М. Булгаков, М.К. Лінник, О.П. Гурченко // Зб. наук. праць Національного аграрного університету „Механізація сільськогосподарського виробництва”. Том VI. „Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин”. – К.: НАУ, 1999. - С. 220.
25. Паньків М.Р. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гвинтово-еліпсного очисника коренезбиральних машин. Дис... канд. техн. наук. – Тернопіль, 2003. – 160 с.

26. Гандзюк М.О. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів доочисника коренеплодів: Дис... канд. техн. наук: 05.05.11. – Луцьк, 2002. - 163 с.
27. Петрикович Ю.Я. Тенденції розвитку сепаруючих пристроїв коренезбиральних машин / Ю.Я. Петрикович, М.Р. Паньків // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст., вип.7. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2000. - С. 115-120.
28. Патент № 2363977, Франція, кл. А 01D 33/08, 1979.
29. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські та меліоративні машини / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко. – К.: Вища освіта, 2004. - 544 с.
30. Данильченко М.Г. Розробка і дослідження шнекових та роторних очисників коренеплодів бурякозбиральних комплексів: Дис... канд. техн. наук: 05.02.04. – Тернопіль, 1992. - 153 с.
31. Шабельник Б.П. Теорія і практика обґрунтування параметрів робочих органів бурякозбиральних машин / Б.П. Шабельник. – Харків, 2001.- С. 314.
32. ДСТУ 2258-93. Машини бурякозбиральні. – К.: Держстандарт України, 1993. - 18 с.
33. Кринецький И.И. Основы научных исследований / И.И. Кринецький. – К.: Вища школа, 1980. - 266 с.
34. КД 46.16.01.005 – 93 “Випробування сільськогосподарської техніки. Основні положення”. – К.: - 34 с.
35. Бабицкий Л.Ф. Основы научных исследований / Л.Ф. Бабицкий, В.М. Булгаков, Д.Г. Войтюк – К.: Издательство НАУ, 1999. - 205 с.
36. Хайлис Г.А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин / Г.А. Хайлис. - Киев, УСХА, 1992. - 240 с.
37. Тудель М.В. Спеціальні комбайни / М.В. Тудель, Б.О. Козаченко, В.Г. Герасимчук. – К.: “Урожай”, 1988. - 184 с.
38. Барановський В.М. Дослідження пропускнуої здатності комбінованого доочисника вороху коренеплодів / В.М. Барановський, Д.Г. Войтюк,

А.Ю.Виговський. // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст., вип. 13. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2005. – С. 8-17.

39. Барановський В.М. Конструктивні та кінематичні параметри комбінованого очисника вороху коренеплодів / В.М. Барановський, Д.Г. Войтюк, А.Ю. Виговський // Науковий журнал. Вісник ТДТУ, – Тернопіль, 2002. Том 7, № 2. – С. 90-94.

40. Гевко Б.М. Механізми з гвинтовими пристроями / Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський. – Львів: Світ. – 380 с.

41. Вальщиков Ю.Н. Производство, расчет и конструирование щеточных устройств / Ю.Н. Вальщиков. – Л.: ЛГУ, 1974. – 203 с.

42. Погорілий Л.М. Технологічні принципи інтенсифікації робочих процесів і удосконалення бурякозбиральних машин / Л.М. Погорілий // Зб. наукових праць НАУ. “Сучасні проблеми механізації сільського господарства”. Том 5. – Київ: НАУ, 1999.- С. 379-387.

ДОДАТКИ