МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
"___" _____ 20 25 р.
Зав. кафедри ___д.т.н., професор___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____В.В. Дідур___
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)
магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи «**Обгрунтування параметрів робочих органів машин для збирання коренеплодів**»

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
освітньої програми __магістр_____
спеціальності_____
208 «Агроінженерія»
Каракай Р.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник доктор філософії, доцент Шевчук М.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 рік

ЗМІСТ

ВСТУП..... 6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ, ЗАСТОСОВАНИХ У КОНСТРУКЦІЯХ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВЕРХІВОК КОРЕНЕПЛОДІВ 7
1.1. Огляд та аналіз сучасних конструкцій очисних пристроїв. 7
1.2. Дослідження технологічних процесів роботи основних елементів доочисних механізмів. 20
РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА 25
2.1 Логіка та принципи вибору оптимального робочого органу. 25
2.2. Параметричне обґрунтування основних конструктивних та кінематичних характеристик пристрою доочисника. 31
2.3. Особливості взаємодії очисної лопаті з поверхнею головки коренеплоду.. 37
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ 45
3.1. Загальні положення з безпеки праці під час експлуатації доочисника головок коренеплодів..... 45
3.2. Напрями вдосконалення умов праці персоналу. 46
3.3. Удосконалення умов експлуатації за допомогою розробленого пристрою. 48
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ДООЧИСНИКА 49
4.1. Розрахунок економічних показників ефективності використання пристрою 49
4.2. Висновки по розділу. 53
ВИСНОВКИ..... 55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 56

РЕФЕРАТ

Каракай Р.О. Обґрунтування параметрів робочих органів машин для збирання коренеплодів (Дипломний проект. Уманський національний університет, 2025. Пояснювальна записка – 58 сторінок, включає 4 розділи, 33 рисунки, 4 таблиці, 23 найменувань літератури).

В рамках дипломного проекту було проведено аналіз сучасних технологій та механізмів, які використовуються для додаткового очищення коренеплодів від залишків бадилля після механізованого збирання.

На основі здійсненого дослідження було розроблено та обґрунтовано оптимальний технологічний підхід для фінального очищення цукрових буряків від залишків бадилля. Також запропоновано та спроєктовано двовальний доочисник з паралельним розташуванням валів очищення. В рамках теоретичних досліджень визначено та обґрунтовано ключові конструктивні та кінематичні характеристики даного доочисника. Впровадження у виробництво розробленого доочисника сприятиме зменшенню трудомісткості процесу збирання цукрових буряків, зокрема, завдяки усуненню необхідності ручного очищення коренеплодів від решток бадилля.

Мета роботи полягає в покращенні результатів фінального очищення коренеплодів від залишків бадилля та зменшенні витрат енергії. Для цього ми плануємо обґрунтувати оптимальні конструктивні та технологічні характеристики доочисника поздовжнього типу.

Об'єктом дослідження є загальний технологічний процес остаточного очищення цукрових буряків від залишків бадилля.

Предметом дослідження є загальні тенденції впливу структурно-технологічної моделі двовального пристрою для фінального очищення гички.

Ключові слова: КОРМОВІ БУРЯКИ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ОЧИЩЕННЯ, ФІНАЛЬНЕ ОЧИЩЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ, ДВОХВАЛЬНИЙ ДООЧИСНИК, ПАРАМЕТРИ КОНСТРУКЦІЇ ТА КІНЕМАТИКИ.

ВСТУП

Підвищення обсягів виробництва цукрових буряків і зменшення їхньої вартості становить важливу науково-технічну та економічну задачу. Це зумовлено значним попитом на продукцію цукрової промисловості, потребою у розширенні кормової бази тваринництва України та суттєвим попитом на цукор на зовнішніх ринках.

Зростання виробництва цукрових буряків неможливе без подальшого поліпшення технологічних процедур їхнього збирання. Збирання врожаю коренеплодів цукрових буряків є одним із найбільш трудомістких і енерговитратних процесів, зокрема за кількістю етапів: зрізання гички, додаткове очищення головок, викопування коренеплодів, їх розділення тощо.

Одним із суттєвих етапів технологічного процесу збирання цукрових буряків є доочищення головок коренеплодів від решток бадилля. Це зумовлено вимогами до якості коренеплодів, які надходять на цукровий завод, де зазвичай застосовується ручне видалення залишків бадилля з головок високозрізаних коренеплодів. За кордоном цю проблему вирішують шляхом копіювального дообрізання, залишаючи зрізані верхні частини головок коренеплодів на полі, що призводить до втрати 5...10% врожаю. Впровадження такої технології в Україні вважається недоцільним. По-перше, при дообрізанні частина коренеплодів має скошений зріз, а в інших відкриваються порожнини, що робить такі коренеплоди непридатними для тривалого зберігання на приймальних пунктах цукрових заводів. По-друге, втрати при цьому можуть сягати 10% врожаю.

Сучасні дослідження продиктовані прагненням знайти ефективніший підхід до остаточної обробки головок коренеплодів. Крім того, існує потреба у створенні комплексної конструктивно-технологічної схеми пристрою, який би реалізовував цей підхід. Обґрунтування ключових параметрів та режимів функціонування даного пристрою має важливе значення для економіки України.

РОЗДІЛ 1.
ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ, ЗАСТОСОВАНИХ У КОНСТРУКЦІЯХ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВЕРХІВОК КОРЕНЕПЛОДІВ

1.1. Огляд та аналіз сучасних конструкцій очисних пристроїв.

Ефективне видалення решток бадилля з головок коренеплодів після їх обрізання зрізувальним механізмом становить одну з ключових проблем технологічного ланцюга збирання цукрових буряків.

Продуктивність пристрою для очищення головок коренеплодів визначає пропускну здатність усього збирального комплексу, впливає на безперебійність функціонування коренезбиральних машин та кінцеву якість викопаних коренеплодів.

У представлених працях розглянуто елементи аналізу та механіко-технологічні засади процесу відокремлення гички від головок коренеплодів за допомогою ротаційних очисних апаратів. Встановлено, що зростання кутової швидкості обертання ротора призводить до збільшення натягу ланцюгів апарату. Таким чином, регулювання динамічних характеристик очисного апарату досягається шляхом оптимального вибору кутової швидкості ротора та маси ланцюгів.

На підставі вивчення фізико-механічних властивостей зв’язку гички з головками коренеплодів визначено, що мінімальний опір при відокремленні гички від головки кореня спостерігається при прикладанні зусилля по дотичній до поверхні коренеплоду.

У механізованому збиранні цукрових буряків значної актуальності набуло питання повного відокремлення залишкової гички від головок коренеплодів. Надалі це завдання почали реалізовувати у два етапи: первинне зрізування гички та фінальне очищення головок коренеплодів від її залишків.

У науковій літературі представлені різні методи відокремлення залишкової гички від коренеплодів. Зокрема, згадується електричний метод

(патент НДР № 256820), що базується на диференціації електричного опору надземної та підземної частин буряків. Також описано агротехнічний метод (а.с. СРСР № 1604229), який передбачає присипання залишків гички на коренеплодах шаром ґрунту за 3-6 діб до збирання. Це призводить до в'янення черешків, ослаблення їхнього зв'язку з коренеплодом, що полегшує подальше доочищення буряків сепаруючими та транспортуючими робочими органами коренезбиральних машин.

У промисловому секторі фінальне очищення коренеплодів від залишків гички переважно здійснюється виключно механічним шляхом. Зарубіжні виробники для цієї цілі використовують активні та пасивні дообрізувальні пристрої. Ключовими механізмами, що застосовуються для додаткового очищення головок коренеплодів від залишків гички, є спеціалізовані очисники.

У 1950-х роках комбайни виробництва компаній Штоль (Австрія) та Кіст (США) оснащувалися ротаційними очисниками з робочими елементами з гуми або тросиків з розпушеними кінцями. Під час обертання ці елементи механічно видаляли листя та великі черешки, які не були зрізані раніше. За минулі півстоліття було розроблено значну кількість конструкцій очисників. Низка науковців проводили дослідження з метою розробки оптимальних конструкцій, вивчення технологічних процесів додаткового очищення головок коренеплодів, а також обґрунтування та розрахунку параметрів очисників.

В якості критерію оцінки ефективності функціонування очисника використовують відношення маси відокремленого з коренеплоду листя та черешків до початкової їх маси, що залишається після обрізання гичкозрізальним пристроєм:

$$E = \frac{m}{m_0} 100, \tag{1.1}$$

де E – коефіцієнт очистки, %;

m – маса відокремлених листків та стебел, кг.;

m_0 – маса залишку після обрізки, кг.

Безумовно, показник очищення Е знаходиться у прямій залежності від

кількості та інтенсивності ударів бичів по головці коренеплоду. Зважаючи на те, що отримання точних аналітичних залежностей ускладнене низкою факторів, величину Е, як правило, визначають емпіричним шляхом.

У сучасній техніці для збирання цукрових буряків використовується широкий спектр різноманітних конструкцій пристроїв для очищення головок коренеплодів.

У машинах для збирання гички вітчизняного виробництва найбільш поширеною є компонувальна схема доочисника, представлена на рис. 1.1 (А.С. № 660616).

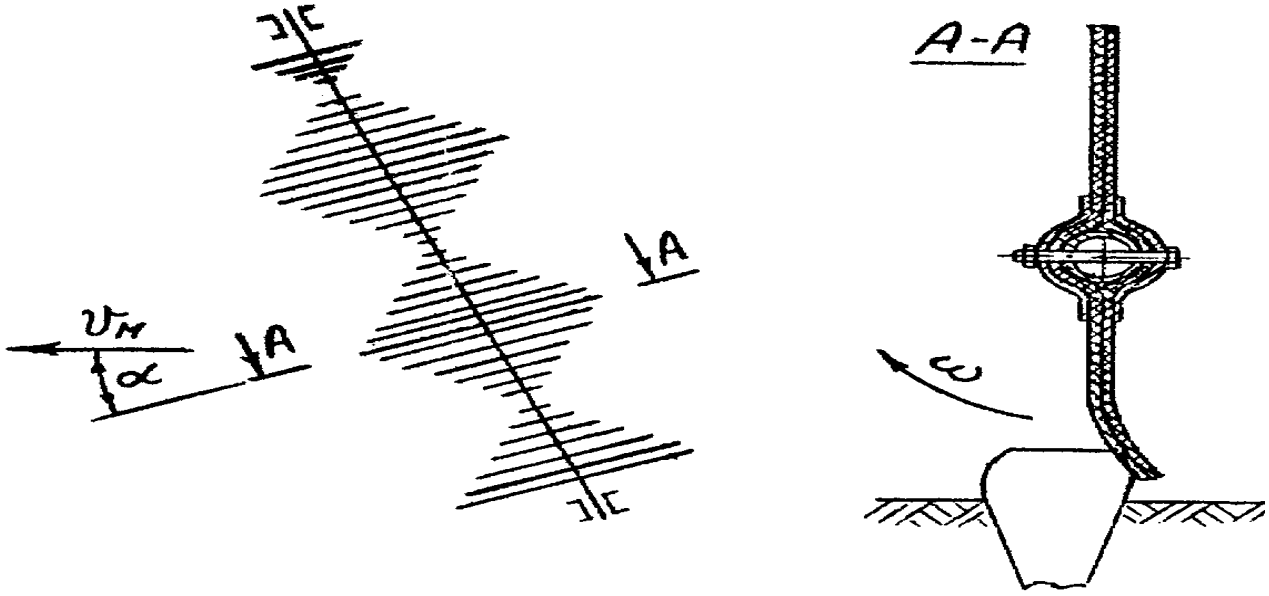

Рис.1.1.Структурна схема очисного пристрою та функціональна концепція бича

Описаний доочисник характеризується наявністю рами, опорних коліс для адаптації до нерівностей рельєфу поля, та горизонтального валу, на якому спірально розташовані пружні очисні елементи (бичі), виготовлені з гуми або поліуретану. Конфігурація перерізу бичів може бути різноманітною, зокрема прямокутною, квадратною або круглою.

При обертанні валу, дистальні частини пружних бичів здійснюють ударну дію по поверхні коренеплодів, забезпечуючи видалення залишків бадилля та їх транспортування за межі оброблюваної ділянки. Евакуація

рослинних решток на вже зібрану частину поля реалізується шляхом орієнтації площини обертання ротора під кутом 15…17 градусів відносно вектора швидкості руху агрегату.

Для підвищення експлуатаційної надійності очисників через фрагментацію та дисперсію рослинних залишків (рис.1.2), на горизонтальному валу, між очисними бичами, шарнірно встановлені подрібнюючі компоненти, розміщені з радіальним рознесенням (А.С. № 818536).

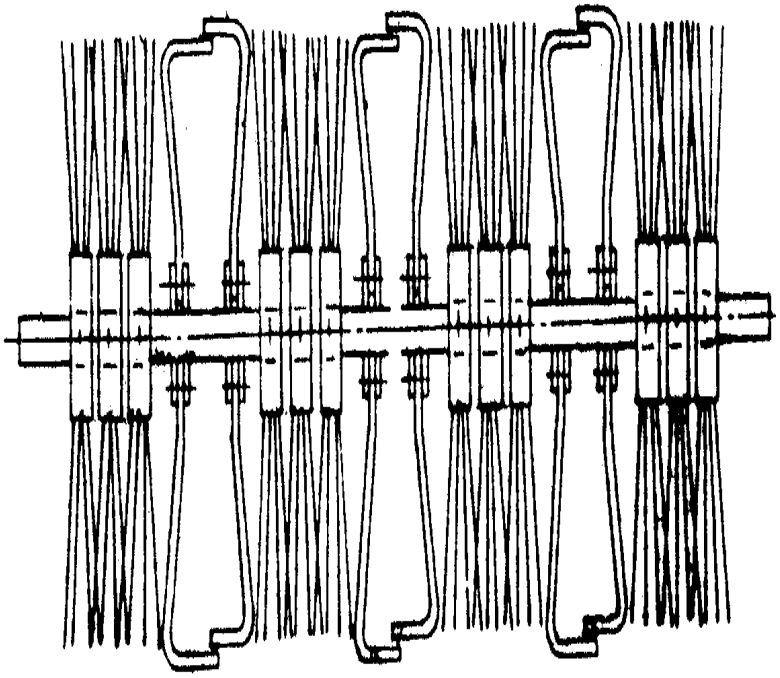

Рис. 1.2. Очисний пристрій із подрібнювальними елементами, розташованими між бичами

Під час пересування пристрою для очищення по поверхні поля, бадилля та органічні рештки збираються в міжряддя, де згодом подрібнюються ріжучими елементами та рівномірно розподіляються по площі оброблюваної ділянки. Суттєвим обмеженням даного типу очисника є значна вірогідність травмування коренеплодів лезами, особливо при відхиленні рами від заданої траєкторії рядків, що доволі часто спостерігається в практичних умовах експлуатації.

Альтернативна схема розташування очисних компонентів, виконаних у

вигляді комплексу пружних стержнів, змонтованих на бічних поверхнях опорних елементів (відповідно до патенту № 1333255), ілюстрована на рисунку 1.3. Під час функціонування пристрою елементи, що знаходяться у безпосередній близькості до валу, здійснюють первинне очищення коренеплодів, після чого в дію вступають другі елементи, розташовані на вищій позиції відносно перших, звільняючи коренеплоди від бадилля.

Через складну конструкцію, недостатню надійність фіксуючих елементів бил та підвищений ризик пошкодження коренеплодів кронштейнами,

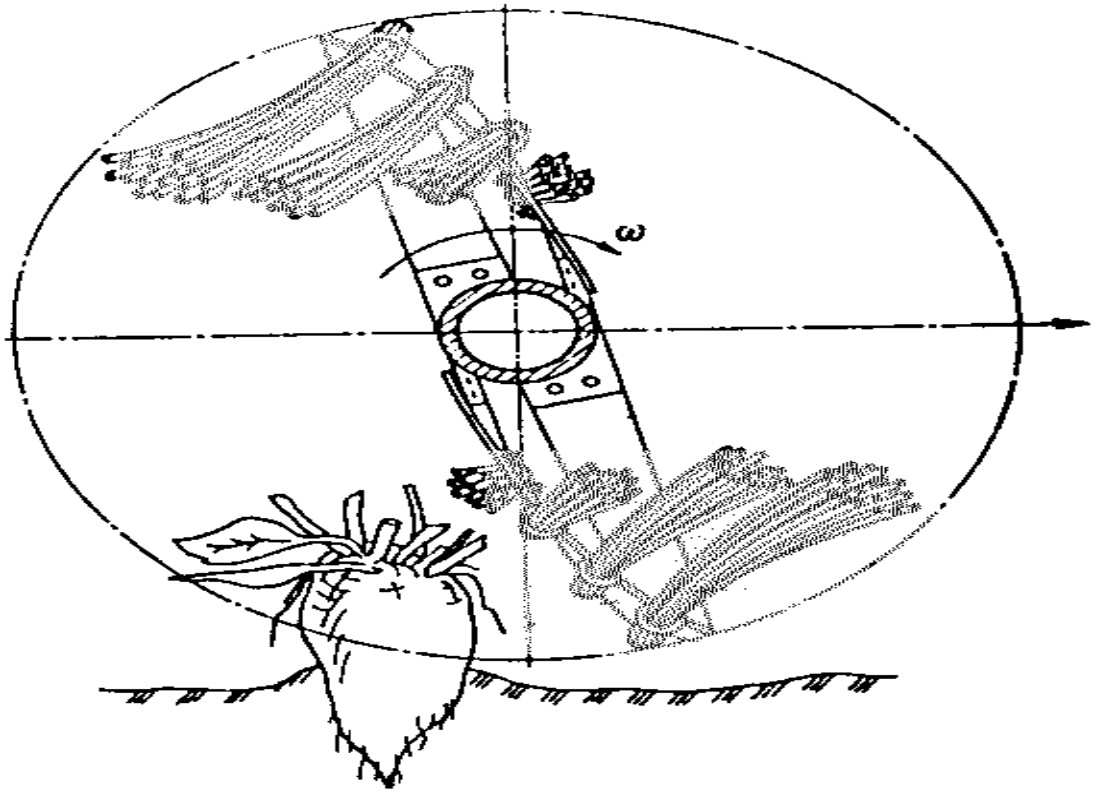

Рис.1.3. Очищувач із бічним кріпленням бильних елементів, що мають вигляд еластичних стрижнів

очисники з такою конструкцією не набули поширення в бурякозбиральних комплексах.

Питання підвищення надійності кріплення еластичних бил на очисних валах розглядаються в конструкціях очисників, представлених на рис. 1.4 (а.с. №1 530121, патент № 404184).

Обмеженням функціонування доочисника (А.С. № 1530121) є відносно короткий термін служби гнучких очисних елементів, зумовлений їхнім

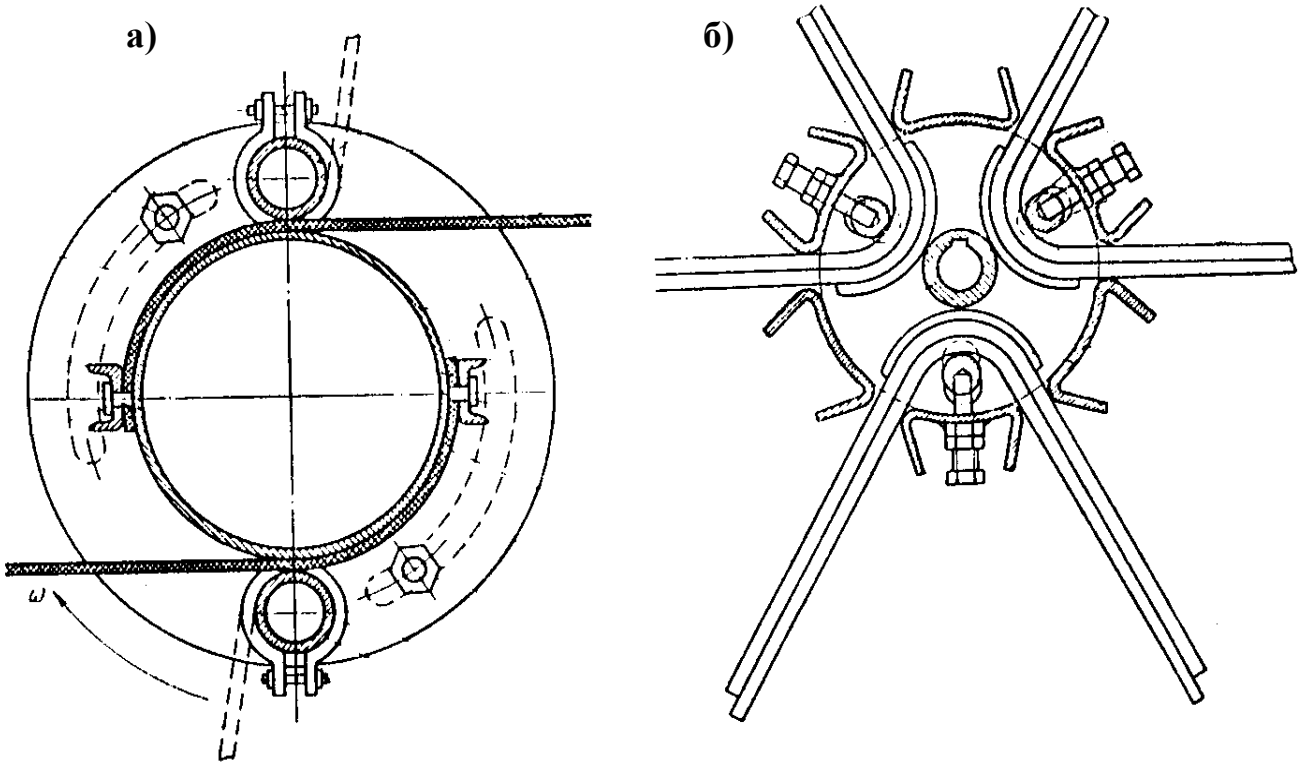

Рис.1.4. Конструкції очисників з утримуванням молотильних елементів, що характеризуються підвищеною експлуатаційною стабільністю:

а) відповідно до авторського свідоцтва №1530121; б) до патенту №404184

зношуванням. З метою оптимізації процесу доочищення здійснюється регулювання довжини робочих частин очисних елементів шляхом обертання фіксуючих елементів разом із фланцями. Конструкція фіксуючого пристрою (патент № 404184) становить інтерес завдяки спрощенню процесу монтажу бил та підвищенню їхньої надійності й довговічності.

Разом з тим, відзначені конструкції фіксаторів характеризуються технологічною складністю виготовлення, що обмежує їхню потенційну інтеграцію в конструкцію бурякозбиральних машин.

Для забезпечення доочищення коренеплодів кормових буряків від залишків гички використовуються еластичні били, що мають форму гумових трубок (рис. 1.5, А.С. № 733542). Дані робочі органи характеризуються низьким

коефіцієнтом аеродинамічного опору, ефективно проникають у залишки гички та, ковзаючи по поверхні коренеплоду, забезпечують їх очищення. Важливою перевагою є те, що вони не спричиняють переміщення ґрунту, що є характерним для лопатних бил, і, як наслідок, демонструють знижену енергоємність.

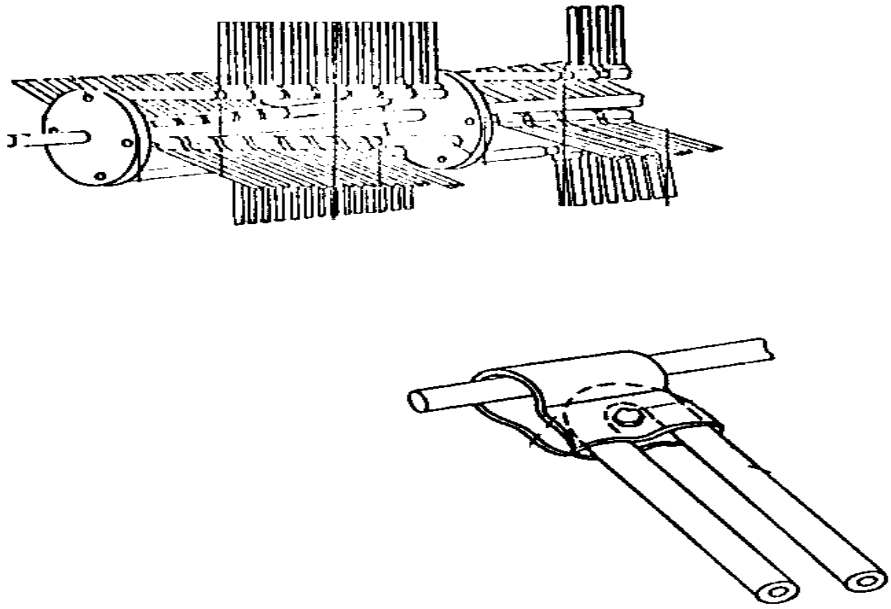

Рис.1.5. Очищувач із ударними елементами, виготовленими з еластичних трубок

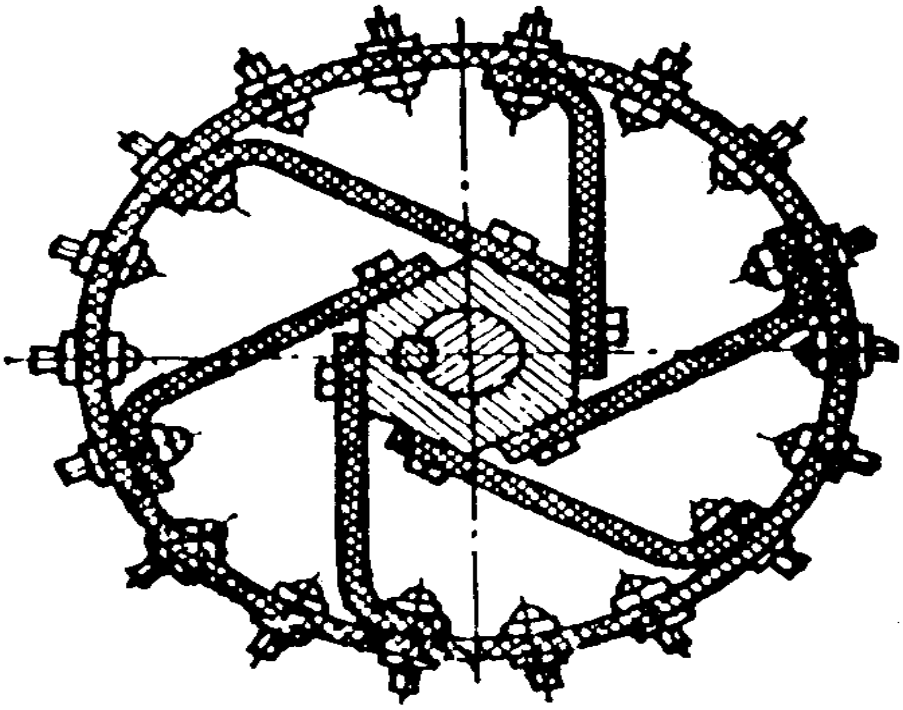

Рис.1.6. Очищувач барабанного типу

Представлено доочисний пристрій барабанного типу (рис. 1.6, патент № 1102510), в якому кожен робочий орган має форму кільця. На зовнішній поверхні кільця розміщені закріплені очисні елементи. Кільце з'єднане з валом за допомогою гнучких спиць.

Під час роботи кільце змінює форму, повторюючи контури головки коренеплоду.

Недоліком даного очисника є його короткий термін служби та недостатня міцність гнучких спиць, що призводить до погіршення якості очищення.

На рис. 1.7 (патент № 1568927) показано компонування двовального доочисника. Завданням розробки є поліпшення процесу доочищення кормових буряків від бадилля. На рамі знаходяться привід, опорні колеса, передній і задній вали, що обертаються назустріч один одному. Вали розміщені під кутом до напрямку руху доочисника і мають секції з гнучкими робочими органами. Нижня частина вихідного отвору кожуха розташована нижче найнижчої точки обертання робочих органів. Вихідний отвір кожуха розташований вище найвищої точки траєкторії обертання робочих елементів. Бокові стінки мають проріз для проходження коренеплодів. Вихідний отвір з'єднаний з шнековим транспортером за допомогою направляючого щитка. Зірване з головок коренеплодів бадилля під впливом відцентрових сил і потоку повітря спрямовується до вихідного отвору та видаляється з зони рядків.

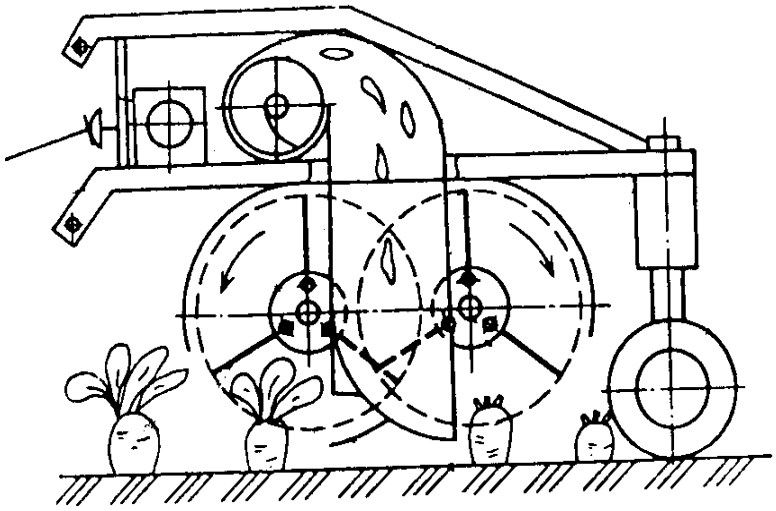

Рис.1.7. Очисна установка з двома валами

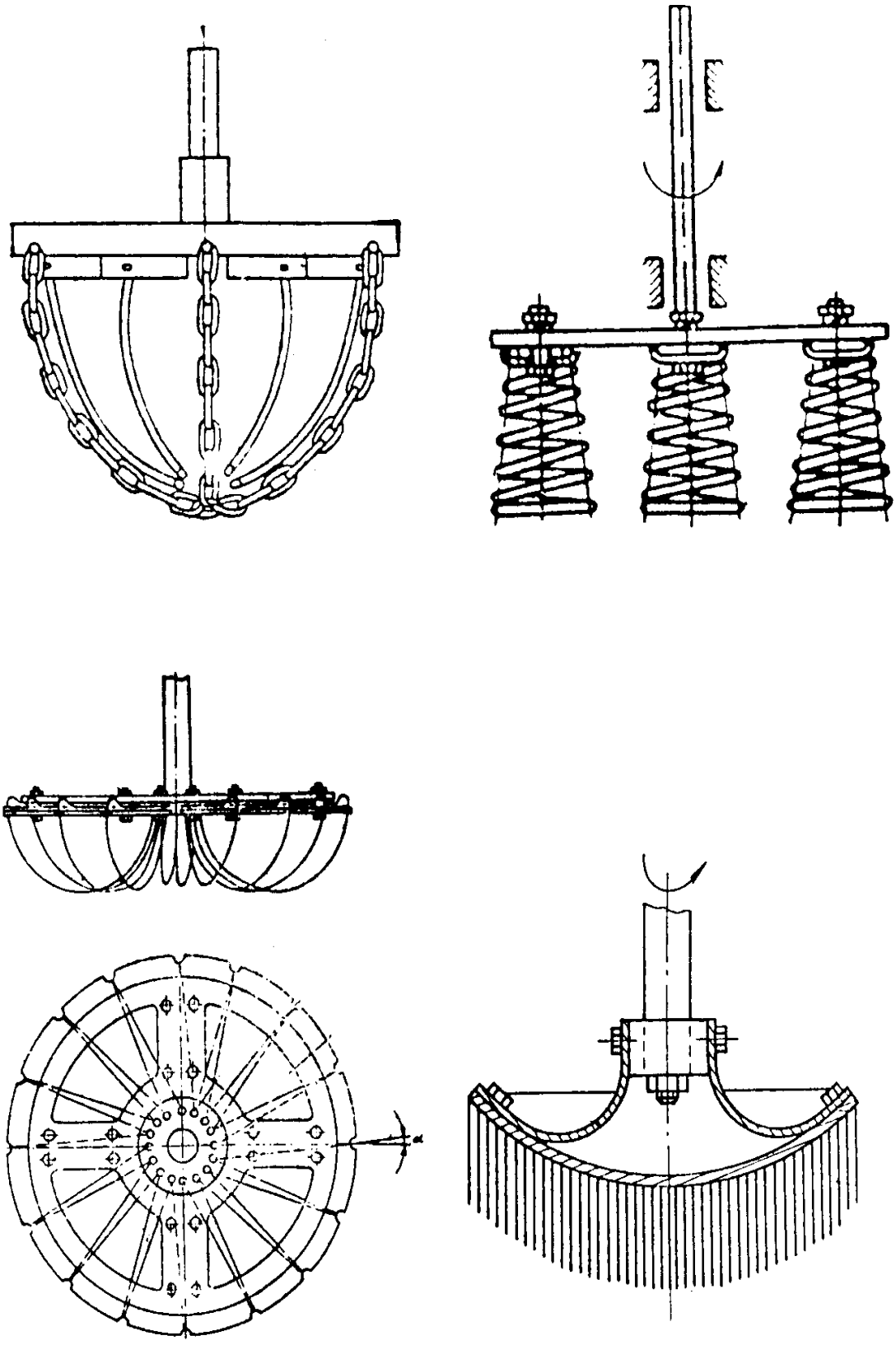

Рис.1.8. Конструкції вертикальних очисників,
запатентованих у винаходах за авторськими свідоцтвами:
а) № 980655; б) № 1269761; в) № 886791; г) № 1628901.

Основними проблемами цього очисного обладнання є високе споживання енергії та пошкодження верхнього шару ґрунту в процесі роботи,

що негативно впливає на його родючість.

На рисунках 1.8 і 1.9 (згідно з авторськими свідоцтвами №№ 980655, 1269761, 886791, 1628901, 1130218, 1568926, 1058534) представлені очисники головок коренеплодів з вертикальним розташуванням осі обертання. Робочі елементи доочисників, описані в авторських свідоцтвах №№ 980655 та 1269761, реалізовані у вигляді ланцюгів і конічних пружин.

Типовим недоліком технології очищення таких доочисників є значне травмування коренеплодів через використання твердих робочих деталей.

На рисунках 1.8 і 1.9 (згідно з авторськими свідоцтвами №№ 980655, 1269761, 886791, 1628901, 1130218, 1568926, 1058534) представлені очисники головок коренеплодів з вертикальним розташуванням осі обертання. Робочі елементи доочисників, описані в авторських свідоцтвах №№ 980655 та 1269761, реалізовані у вигляді ланцюгів і конічних пружин.

Типовим недоліком технології очищення таких доочисників є значне травмування коренеплодів через використання твердих робочих деталей.

Використання еластичних стрижнів та щіток (зображено на рис. 1.8 в та рис. 1.8 г) в апаратах доочищення роторного типу суттєво покращує

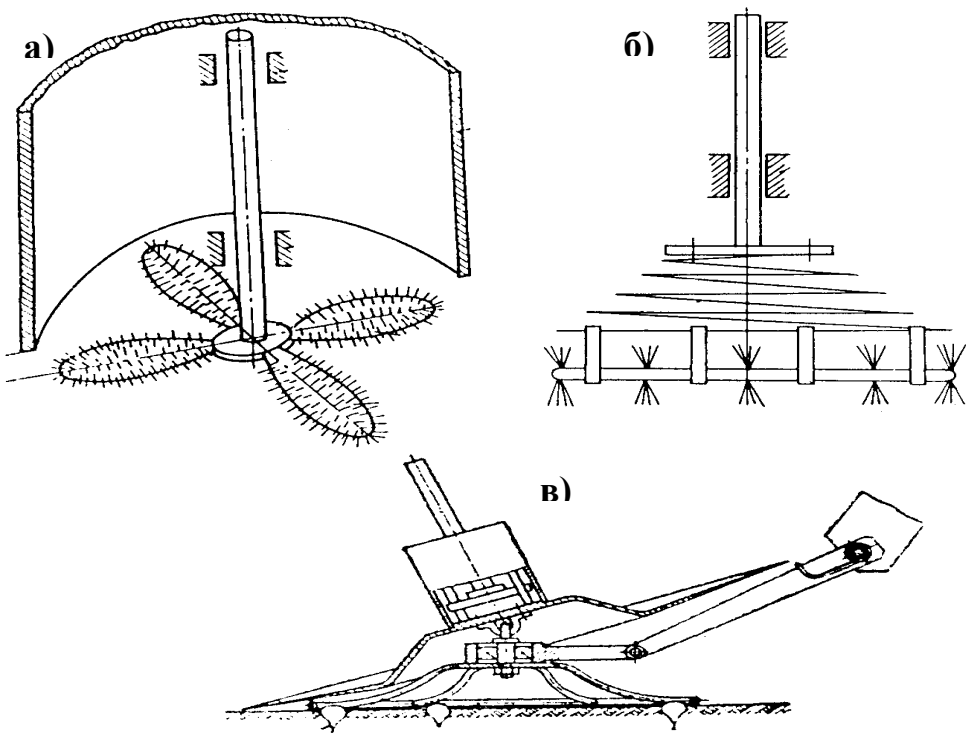

Рис. 1.9: а) А.С. № 1560218; б) А.С. №1568926;

ефективність доочищення та знижує рівень травмування коренеплодів. Тим не менш, конструктивна складність системи приводу (потреба в індивідуальній приводній осі для кожного рядка коренеплодів) істотно стримує поширене використання таких очисників. Нестандартні конструктивні рішення для очищення головок коренеплодів представлені на рис. 1.9 а та 1.9 б. У першому варіанті робочий елемент складається з лопатей, на яких закріплені гнучкі стрижні. Під час функціонування, гнучкі лопаті остаточно очищають головки коренеплодів від залишків бадилля, а потім переміщують їх по трубі до місця розвантаження. В іншому конструктивному рішенні, робочий елемент виконаний як пружний вал з очисними деталями, розташованими під прямим кутом до осі обертання головного валу.

Основні недоліки згаданих пристроїв для остаточного очищення полягають у їхній комплексній конструкції та складнощах при використанні. Інший тип пристрою для очищення (див. рис. 1.9 в) представляє собою очисник фрезерного типу з нахиленим розташуванням осей. Недоліком даного очисника також є складна конструкція і експлуатація.

Застосування напівжорстких еластичних елементів, з’єднаних шарнірно з осями горизонтального вала, показано на рис. 1.10 (патент США № 3306017).

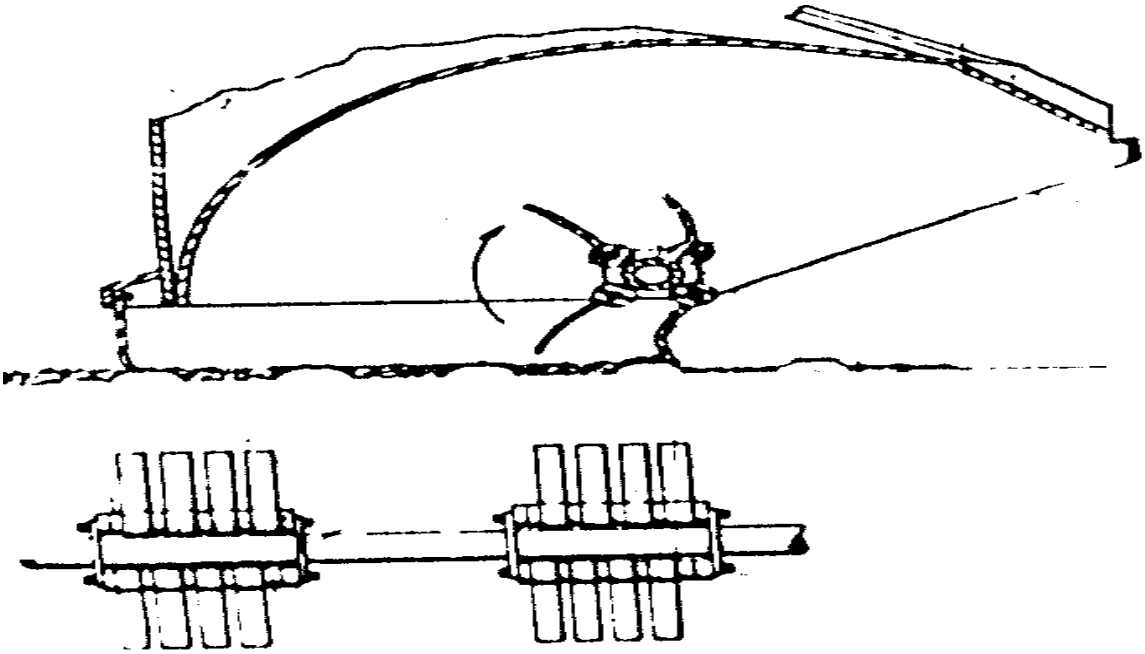

Рис.1.10. Очисник з рухомими елементами, з'єднаними шарнірами

Інший варіант пристрою для остаточної обробки головок коренеплодів з рухомо закріпленими елементами, зображений на рисунку 1.11, містить горизонтальний вал приводу. На валу тангенціально закріплені еластичні очисні елементи, вільні кінці котрих з'єднані з валом очисника за допомогою гнучких з'єднань. Ці з'єднання розташовані з протилежного боку від робочих поверхонь очисних елементів.

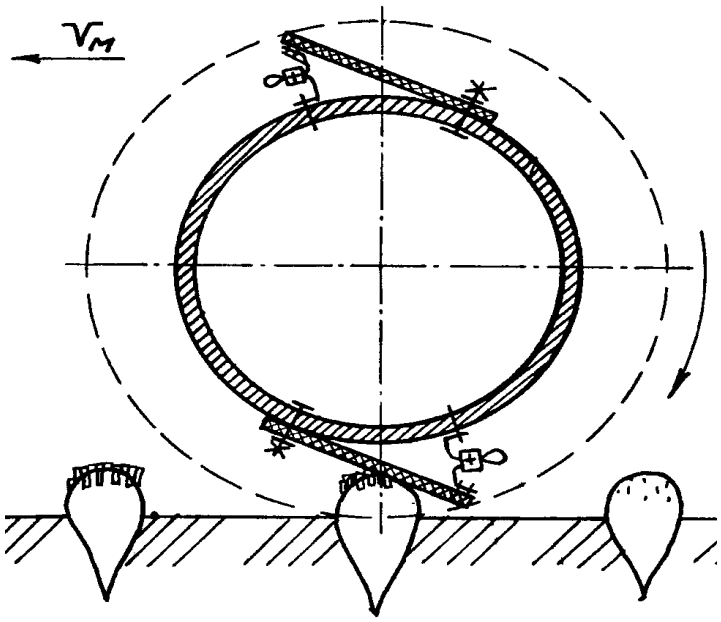

Рис.1.11. Очисник з тангенціально встановленими лопатками

На рисунку 1.12 представлено конструктивне рішення активних дискових копіювальних елементів, які функціонують разом з пасивними ножами (патент Німеччини № 2538224).

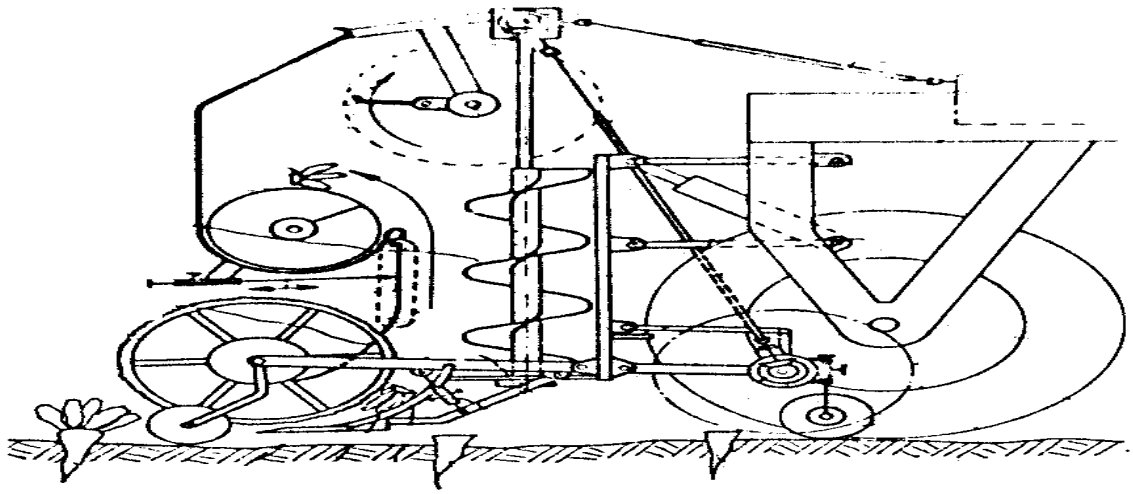

Рис.1.12. Очисник з обертовими дисковими робочими органами

Запропонована конструкція поєднує видалення бадилля з одночасним повторенням форми поверхні головок коренеплодів. Подібні очисники зазвичай не потребують додаткового валу з гнучкими елементами, оскільки звичайні дискові копіри достатньо точно відтворюють контури коренів.

Обмеженням цих пристроїв є невисока робоча швидкість агрегату. При підвищенні швидкості можливе відривання (вібрування) копірів від головок коренеплодів.

На рисунку 1.13 (патент США № 3423914) показано розміщення звичайного ножа для остаточного очищення головок коренеплодів після горизонтального валу з гнучкими елементами.

Описана конструкція досить ефективно виконує очищення, але водночас вирізняється складністю будови та відносно великою кількістю деталей. великими енерговитратами процесу доочищення.

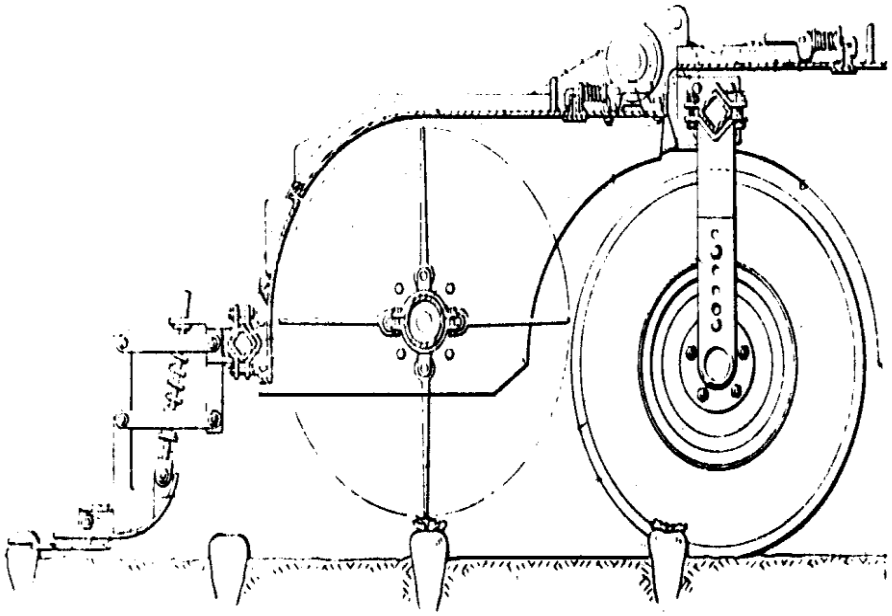

Рис.1.13. Очисник з пасивним ножем, розташованим за очисним валом

На малюнку 1.14 представлено апарат від компанії "Epріо" (Франція), який використовується в коренезбиральних машинах для обрізання бадилля та очищення верхньої частини коренеплодів. Цей апарат спочатку відсікає основну частину бадилля за допомогою обертового механізму з рухомими

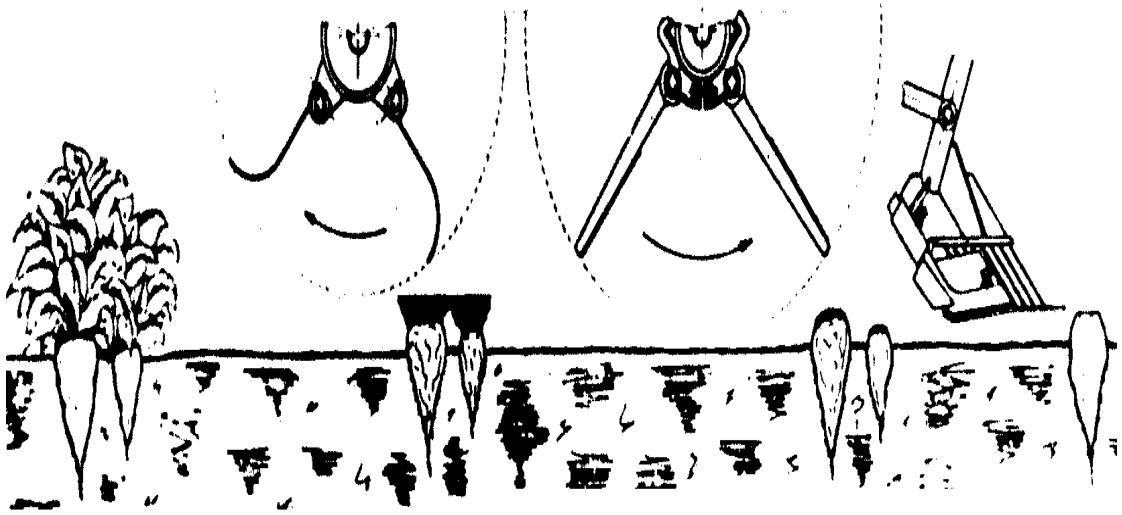

Рис.1.14. Очисний пристрій коренезбиральної техніки від компанії "Epp1o"

металевими лезами, зрізаючи на висоті, що відповідає верхній частині коренеплодів. Потім, рештки бадилля видаляються за допомогою гнучких гумових елементів. Остаточне очищення верхньої частини коренів здійснюється нерухомими ножами, що повторюють контури.

Проте, кінцеве очищення верхньої частини коренеплодів цим механізмом вимагає надмірних енергетичних витрат і призводить до відчутних втрат цукрової маси через зрізання верхніх частин коренеплодів.

1.2. Дослідження технологічних процесів роботи основних елементів доочисних механізмів.

Конструкції сучасних доочисників використовують чотири основні способи впливу на залишки бадилля для їх видалення з поверхні головки коренеплодів: зрізання; удар; зішкрібання; поєднання кількох способів.

Наприклад, принцип зрізання використовується в очиснику, запатентованому в США (патент 2663986), де на опуклій поверхні ріжучого диска розташовані виступаючі леза для додаткового обрізання залишків бадилля. Однак, робочий елемент, який працює за цим принципом, не може

точно повторити форму головки коренеплоду і може спричинити значні пошкодження.

Поєднання декількох операцій може бути виконано в різних варіантах конструкцій. Наприклад, очисник за авторським свідоцтвом 978764 (СРСР) – це барабан з горизонтальною віссю обертання, уздовж якої закріплені петлі з пружного матеріалу. Петлі виконують комплексний вплив – удар і зішкрібання. Очевидно, що ефективність роботи погіршується, оскільки така конструкція петлі не забезпечує достатньої пружності.

Однак, найбільш ефективними і простими у виготовленні є способи видалення залишків бадилля зусиллям, що діє по дотичній до поверхні головки. Таке зусилля може створити фрикційна поверхня, утворена розподіленим навантаженням від поля відцентрових сил (70...120 Н/см2). Цей процес може бути реалізований за допомогою гнучкої поверхні з вертикальною віссю, що утворена ланцюговим робочим органом для видалення бадилля, який повторює форму головок коренеплодів, що відрізняються за висотою, розмірами і формою. Проте, конструктивно такий робочий орган не забезпечує стабільної пружної просторової системи. В очиснику за авторським свідоцтвом 980655 (СРСР) параболічні стержні, впливаючи на ланцюговий параболоїд, вирішують цю проблему і покращують якість очищення.

Ефективність обраного методу очищення у значній мірі визначається будовою фінального компонента очисника.

Отже, хоча існує чимало різних способів і варіантів конструкцій очисників, жоден з наявних не повністю відповідає встановленим критеріям оцінки щодо технологічного процесу остаточного видалення залишків бадилля з коренеплодів.

На рисунку 1.16 показано типовий очисник з однією петлею. Для збільшення терміну служби таких очисників гнучкі елементи можуть бути розташовані у два шари, як продемонстровано на рисунках 1.16; 1.17; 1.18; 1.19. Під час експлуатації зовнішня петля зношується та рветься, після чого в дію вступають внутрішні еластичні бичі, що збільшує строк служби очисних

елементів.

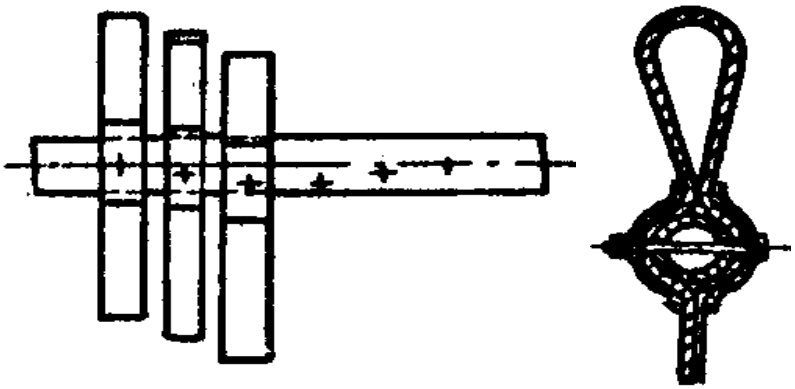

Рис.1.16. Очисник однопетлевого типу за патентом А.С. №1235466

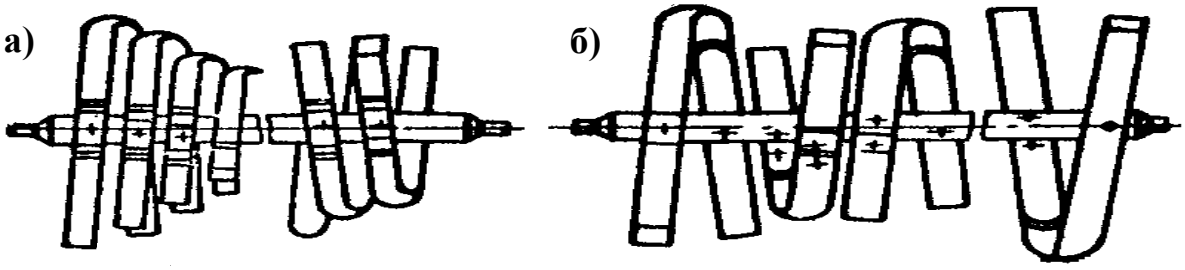

Рис. 1.17. Очисник із різнорівневим кріпленням еластичних бичів:

а) за патентом А.С. №1475524; б) за патентом А.С.№1475525.

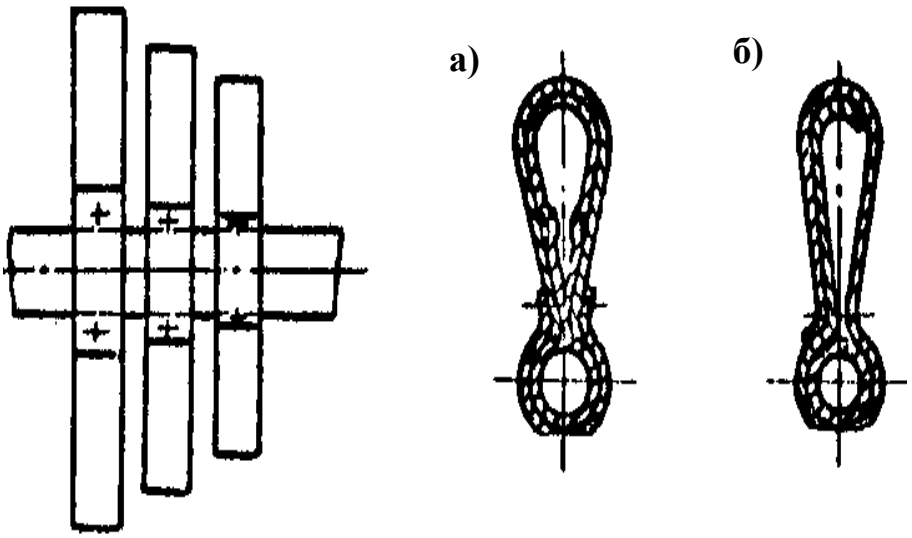

Рис. 1.18. Двопетлеві очисні пристрої:

а) за патентом А.С. №4810028; б) за патентом А.С. №4722455.

Очисники, представлені на рисунках 1.19 та 1.20, забезпечують якісне видалення забруднень як з центральної частини коренеплодів, так і з їх бічних поверхонь.

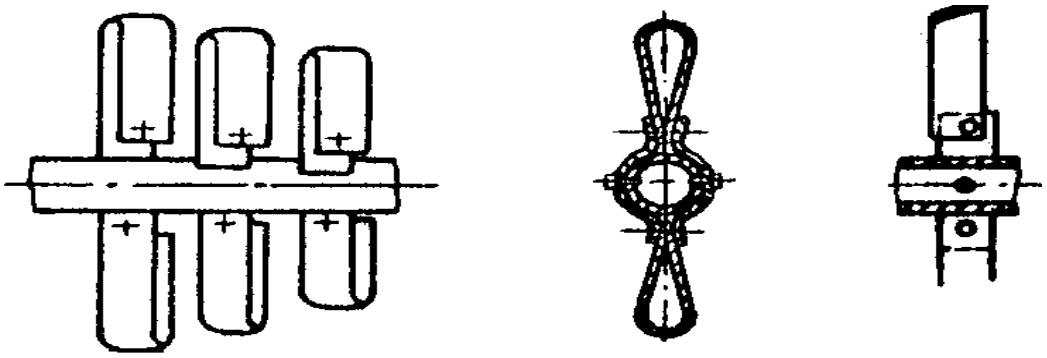

Рис. 1.19. Конструкція очисника зі зміщеним способом кріплення еластичних бичів (патент А.С. №1323006)

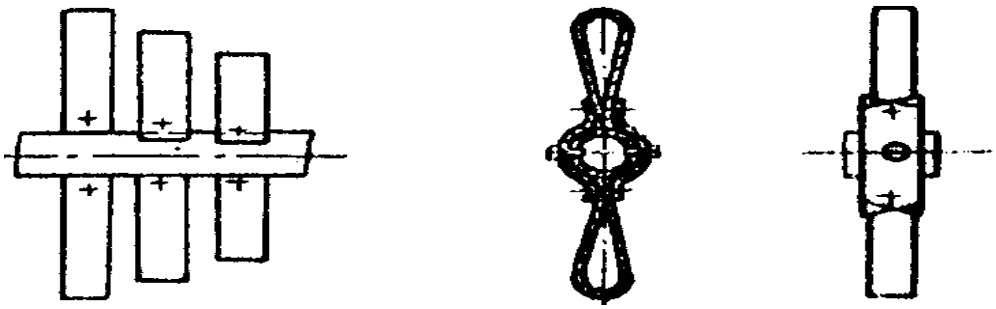

Рис. 1.20. Очисник, оснащений скошеними притискними пластинами (патент А.С. №1576001)

У винаході № 1323006 це реалізується шляхом зсуву одного краю чистячого елемента відносно іншого вздовж осі вала, при цьому він може вільно обертатися навколо утримуючого стрижня. У винаході № 1591847 кінці притискних пластин мають скошену форму, причому скоси кожного чистячого елементу орієнтовані назустріч один одному. Під час роботи ці скоси сприяють поперечному обертанню бил, що забезпечує більш рівномірне очищення коренеплодів.

Для підвищення ефективності очищення верхньої частини коренеплодів, пружні елементи можуть бути встановлені під кутом до осі обертання валу, але в протилежних напрямках відносно утримуючого стрижня. В зоні очищення бичі частково перекриваються, при цьому діаметрально протилежні лопатки,

спрямовані у напрямку обертання валу, зміщені одна відносно одної в протилежні боки (як показано на рисунку 1.21).

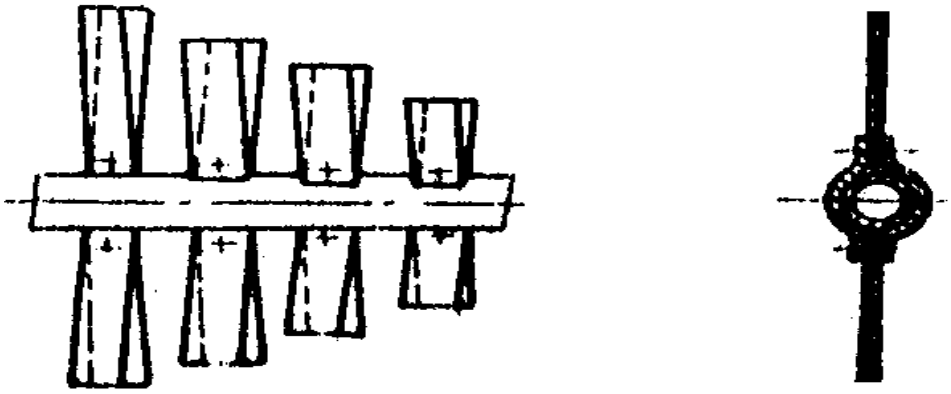

Рис. 1.21. Конструкція очисника з лопатями, розташованими під кутом розведення (патент А.С. №1571847)

Значне подовження терміну експлуатації очисника досягається завдяки інноваційній конструкції еластичних W-подібних скребків (див. рис. 1.22). У разі зношування зовнішнього контуру передбачено два способи переміщення полосової стрічки з подальшою фіксацією за допомогою затискних елементів.

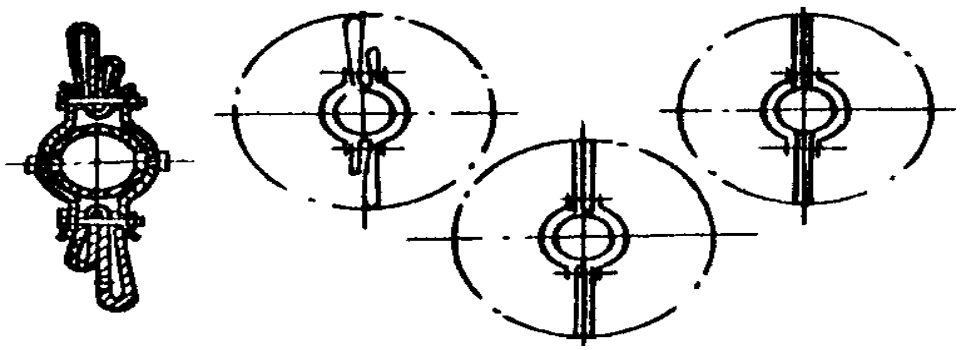

Рис. 1.22. W-подібний очисник із різноманітними схемами кріплення бичів (патент А.С. №1544849)

Очисники даного типу відрізняються фіксованим кріпленням похилих металевих пластин до бічних сторін дисків або секторів. Самі диски/сектори можуть притискатися окремими або загальними пружинами.

Під час роботи, робочі елементи повторюють форму коренеплоду, що сприяє якісному очищенню.

РОЗДІЛ 2.
АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Логіка та принципи вибору оптимального робочого органу.

Огляд наукових джерел показує, що забезпечити очищення головок коренеплодів від залишків гички відповідно до агротехнічних вимог лише за допомогою гичкозрізувального апарата досить складно. В Україні найбільше поширені технології двоетапного видалення гички з коренеплодів.

Щоб підтвердити ефективність застосування очисника з поздовжнім розташуванням робочого органу та обґрунтувати вибір доочисника поздовжнього типу, проведемо порівняльний аналіз його роботи за агротехнічними характеристиками з показниками очисників, що нині використовуються у сільському господарстві.

З метою встановлення агротехнічних та енергетичних характеристик і обґрунтування вибору оптимальної конструкції очисника головок коренеплодів, було здійснено дослідження та аналіз результатів лабораторно-польових випробувань машин БМ-6А (у двох модифікаціях) та МБС-6, структурні схеми яких представлені на рис. 2.1, 2.2, 2.3.

Відносні лабораторно-польові дослідження виконувалися на посівах цукрових буряків, що характеризувалися врожайністю бадилля 580 ц/га, середньою щільністю насаджень 92,1 тис. рослин/га та вологістю ґрунту 26,1%. Ефективність функціонування порівнюваних доочисників головок коренеплодів оцінювалася за такими критеріями: а) інтенсивність очищення головок коренеплодів від залишків листкових черешків після їх зрізання гичкозрізальним пристроєм; б) ступінь усунення рослинної маси – бур’янів та віддаленого бадилля з рядків і міжрядь; в) вплив функціонування доочисників на збереження бадилля у валку коренеплодів.

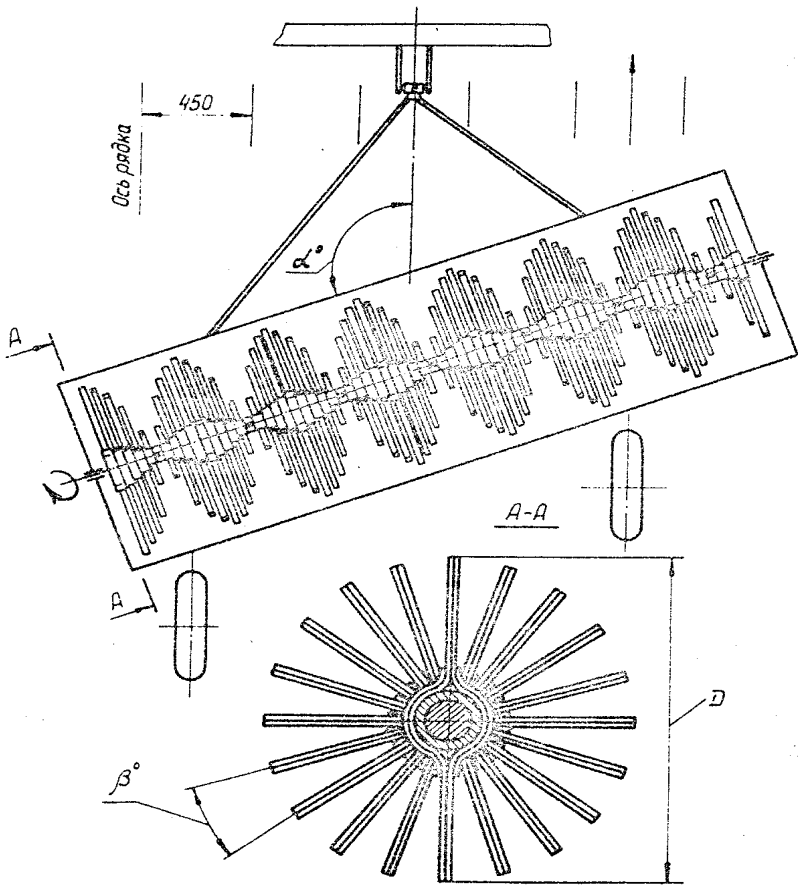

Рис. 2.1. Конструкція роторно-гвинтового очисника, який використовується в машині БМ-6А

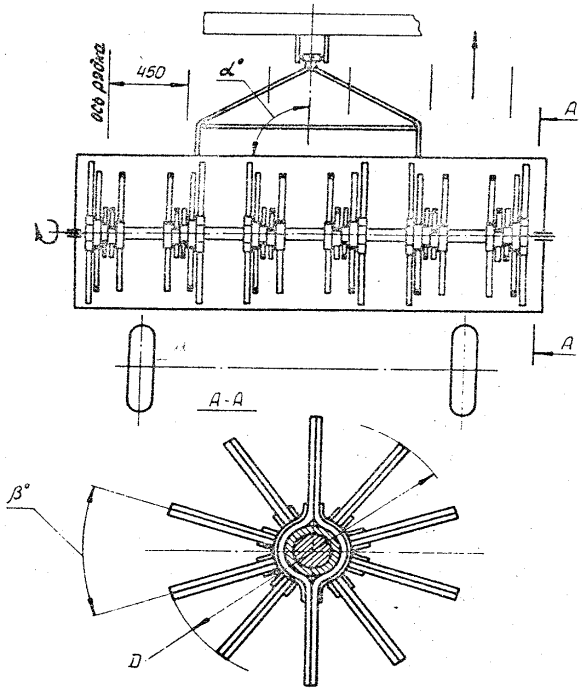

Рис. 2.2. Принципова схема роторно-гвинтового очисника з переривчастим приводом, що використовується в машині БМ-6А

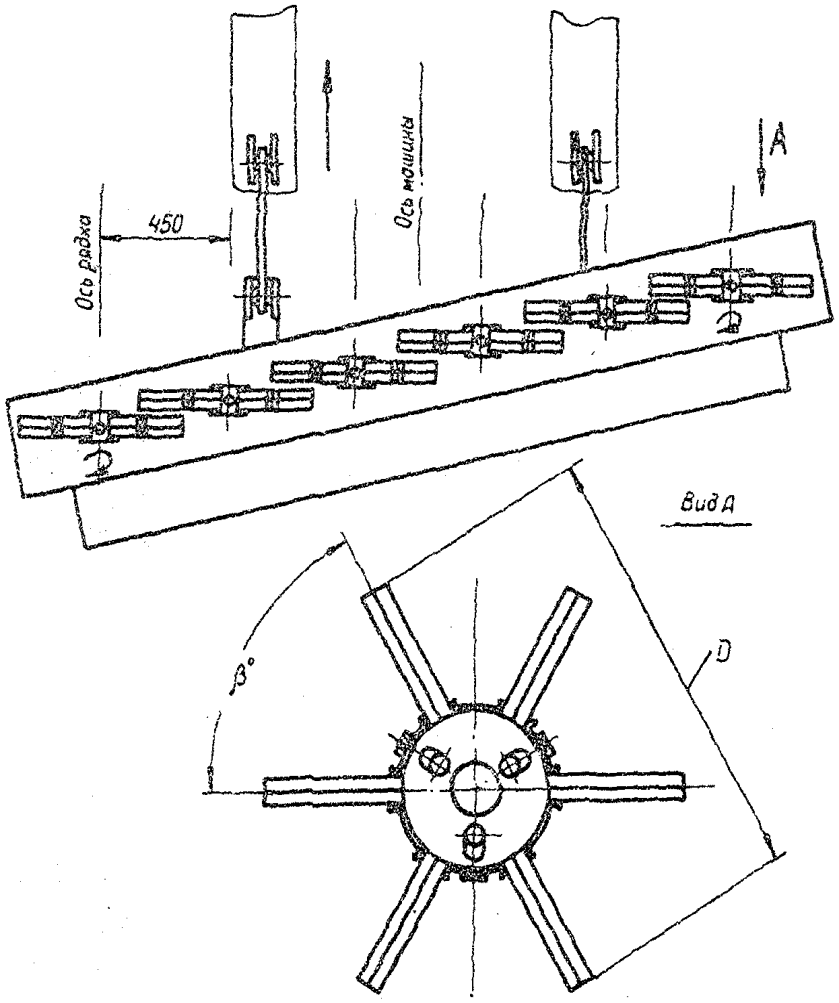

Рис. 2.3. Схема шестироторної очисної машини МБС-6

Згідно з даними таблиці 2.1, проведений аналіз показує, що очисник із поздовжнім розташуванням робочих валів забезпечує найвищу ефективність у видаленні залишків бадилля та черешків із головок коренів. Така перевага пояснюється його здатністю ретельно усувати бадилля з головок і переносити його в міжряддя, що зменшує забрудненість маси коренеплодів, оскільки бадилля не підбирається викопувальними елементами коренезбиральної машини. Після роторно-гвинтового очисника суцільної навивки забрудненість коренеплодів бадиллям становить 1,07%, тоді як роторно-гвинтовий очисник переривчастої навивки дає показник 1,93%, що не відповідає агротехнічним стандартам. Порівняння 6-роторного очисника машини МБС-6 із роторно-гвинтовим очисником суцільної навивки демонструє, що обидва агрегати практично однаково ефективно видаляють залишки бадилля з головок коренеплодів і переміщують рослинну масу за межі рядків і міжрядь.

Ефективність роботи зерноочисних машин, що характеризується агротехнічними показниками, представлена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Агротехнічна оцінка результативності функціонування очисних пристроїв

Показники	**Очисники**			
	Роторно-гвинтовий очисник з переривчастою навивкою	Очисник із поздовжнім розташуванням валів	Роторно-гвинтовоий суцільної навивки	шестироторний
Видалення гички очисником, %	60,5	81,5	44,4	44,9
Маса гички на коренеплодах, кг: – до обробки очисником – після обробки очисником	 1,42 0,56	 1,19 0,22	 1,42 0,79	 0,69 0,38
Лінійна швидкість руху машини, м/с	1,5	1,5	1,5	1,5
Маса вільної гички на поверхні поля, кг: – до роботи очисника – після роботи очисника Видалення гички очисником, %	 1,58 0,56 64,6	 1,36 0,31 77,2	 1,58 1,0 36,7	 1,14 0,51 55,2

Шестироторний очисник демонструє задовільну ефективність лише на відносно рівних поверхнях. На нерівномірному ґрунті він недостатньо адаптується до рельєфу поля та конфігурації головок коренеплодів як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках. Внаслідок цього, на поверхні головок цукрових буряків і в міжряддях спостерігається значний залишок гички.

З точки зору чистоти зрізу головок коренеплодів після обробки, очисник із поздовжнім розташуванням очисних валів демонструє найвищі показники.

На загальній структурній схемі (рис. 2.4) відображено конструктивну компоновку пристрою для очищення коренеплодів, що характеризується поздовжнім розташуванням очисних валів. Конструкція очисника включає базову раму 1, яка з'єднується з трактором через навісний механізм 4. До базової рами прикріплена поворотна рама 2 за допомогою поворотної балки 3.

Поворотна рама призначена для фіксації горизонтальних робочих

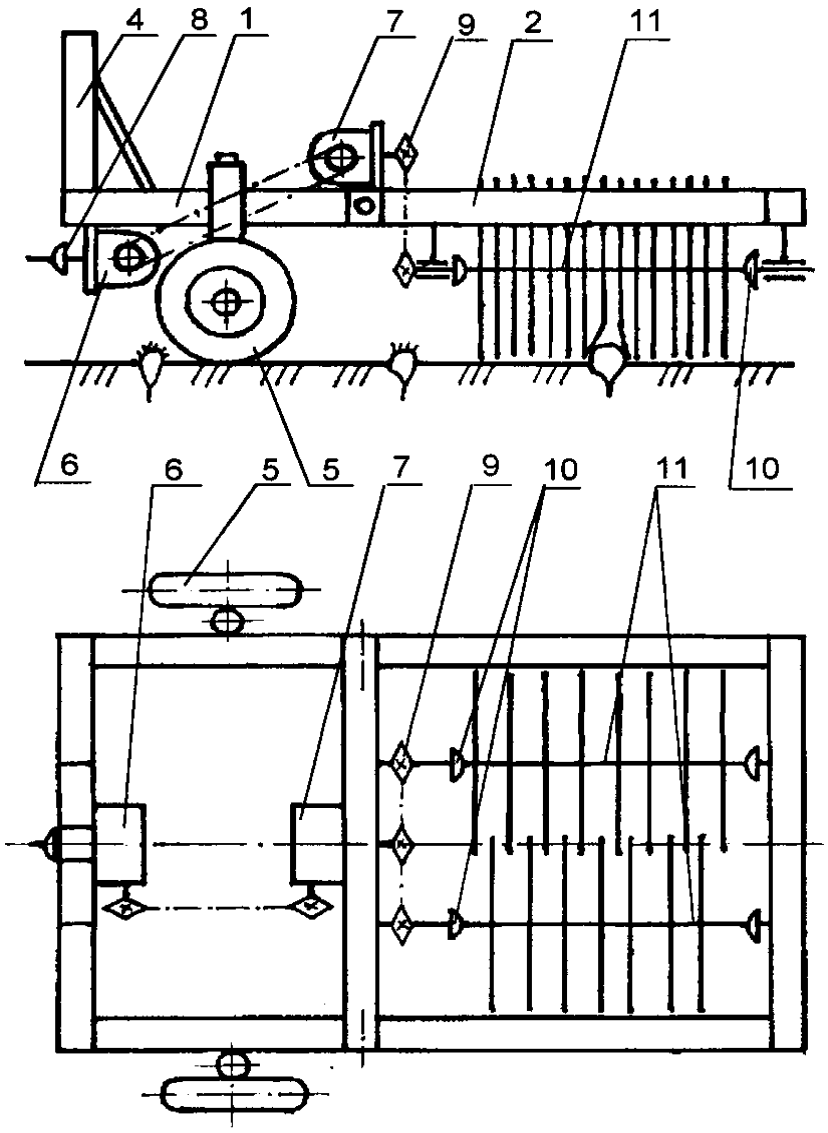

Рис. 2.4. Загальна будова очищувача головок коренеплодів горизонтального типу, що характеризується використанням поздовжніх робочих елементів

елементів і передбачає можливість встановлення під кутом до оброблюваної поверхні за допомогою поворотної балки. Функціонування пристрою відбувається в плаваючому режимі, а його переміщення здійснюється за допомогою опорних коліс. Варто зауважити, що висота робочого положення пристрою підлягає регулюванню, а корегування положення коліс відносно рами забезпечується конструктивними особливостями їх кріплення до рами.

Рисунок 2.4 ілюструє проєкції (бічну та верхню) компонування з поздовжніми активними елементами 11. Їх функціонування забезпечується карданним валом 8, що отримує енергію від валу відбору потужності через конічний редуктор 6. Далі, за допомогою ланцюгової передачі, приводиться в дію редуктор 7, інтегрований у поворотну балку 3. Цей редуктор, через систему ланцюгових 9 та карданних 10 передач, забезпечує рух активних елементів 11.

Конфігурація апарату надає можливість монтувати функціональні елементи перпендикулярно до напрямку оброблюваної площі. Механізм активації функціональних елементів принципово ідентичний описаному раніше. Варто акцентувати, що завдяки рознімному з’єднанню та карданним валам 10, функціональні елементи можливо розташовувати не лише паралельно або перпендикулярно до рядка, але й під кутом відносно напрямку руху в обох випадках.

Продуктивність функціонування пристроїв для очищення коренеплодів залежить від особливостей конструкції, зокрема, від матеріалу та стану очисних компонентів. Слід підкреслити, що на відміну від нового функціонального елемента з еластичними лопатями, стрічкові лопаті порівнюваних очисників під час роботи швидко піддаються зносу, а їх заміна потрібна після обробки кожних 15-20 гектарів. Це зумовлює порушення технологічної процедури очищення та зниження ефективності машини загалом.

Завдяки поворотній траверсі 3, функціональний елемент 12 (рис. 2.5), який активується ланцюговим приводом 13, та можливості регулювання висоти апарату, ми можемо змінювати кут нахилу відносно поверхні поля.

На рис. 2.5 представлена схема очисника коренеплодів консольно-похилої конструкції.

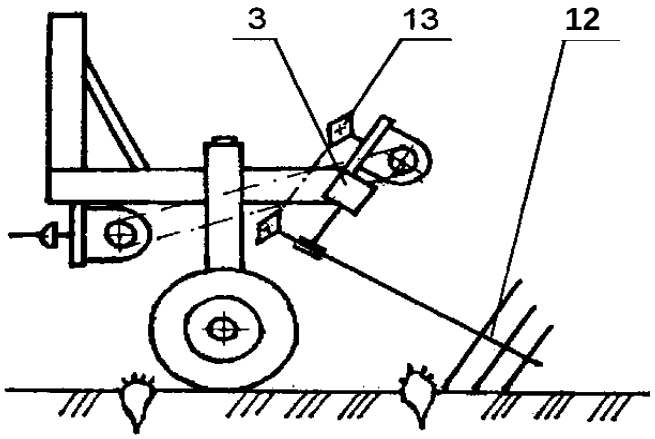

Рис. 2.5. Структурна схема пристрою для очищення головок коренеплодів консольно-похилої конструкції

Отже, конструкції додаткових очисників з осьовим розташуванням очисних валів наразі є найбільш багатообіцяючими з точки зору покращення показників якості технологічного процесу та зменшення енергоспоживання при додатковому очищенні залишків бадилля з коренеплодів.

2.2. Параметричне обґрунтування основних конструктивних та кінематичних характеристик пристрою доочисника.

Ключовими проектними характеристиками розробленого робочого елемента для фінальної обробки головок коренеплодів, спрямованої на видалення залишків листової маси, виступають ширина та довжина лопаті. Саме під впливом цих геометричних параметрів реалізується процес відокремлення черешків від поверхні коренеплоду. Відповідно, першочерговим етапом є встановлення оптимальної величини ширини лопаті.

Провідною кінематичною характеристикою руху очисної лопаті є кінематичний показник λ, що визначається за наступним рівнянням:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_{\text{м}}}, \qquad (2.1)$$

де ω – кутова швидкість обертання лопаті очищення, рад/с;

R – радіус робочого елементу, м;

$V_м$ – лінійна швидкість переміщення очисного агрегату, м/с.

Проаналізуємо ситуації, що виникають при різних значеннях коефіцієнта перекриття *(λ): λ>1, λ =1 та λ <1*. За умови, коли *λ <1,* технологічний процес очищення не буде повноцінним, оскільки після обробки на поверхні коренеплодів залишатимуться залишки гички, що не відповідатиме агротехнічним стандартам. Відповідно, для забезпечення належної якості очищення головок коренеплодів необхідно забезпечити умову – *λ≥1*.

Розглянемо граничний випадок, за якого відсутнє перекриття зони дії очисних лопатей, тобто *λ =1*. Відповідно до технічного завдання (вихідних вимог), приймаємо швидкість поступального руху агрегату $\boldsymbol{V_м}$ рівною 2,0 м/с. Діаметр очисного вала *D* обираємо, виходячи з конструктивних міркувань, та встановлюємо значення *D* = 0,48 м.

Тоді, згідно з виразом (2.1):

$$\omega = \frac{\lambda V_м}{R} = \frac{1 \cdot 2{,}0}{0{,}24} = 8{,}4 \,(\text{рад/с}).$$

Шляхом множення чисельника та знаменника виразу (3.1) на часову змінну t, отримаємо:

$$\lambda = \frac{t\omega R}{tV_{\text{м}}}, \qquad (2.2)$$

У формулі (2.2) величина tω репрезентує кутове переміщення очисної лопаті відносно горизонтальної осі обертання протягом періоду її взаємодії з головкою коренеплоду. Інакше кажучи, tω відображає кут, на який лопать повертається під час обробки коренеплоду.

На противагу цьому, характеризує кутове переміщення активної фази функціонування очисної лопаті. Даний кут переміщення визначає, на який кут повинна повернутися робоча частина доочисника, перш ніж наступна очисна

лопать почне діяти. З огляду на те, що конструкція очисника передбачає наявність чотирьох лопатей, отримаємо:

$$\Theta = \frac{360^0}{4} = 90^0 \cdot$$

Інтервал між початком контакту однієї очисної лопаті з поверхнею коренеплоду та початком контакту наступної лопаті становить:

$$\Delta t = \frac{\Theta}{\omega} = 3{,}14 / 2 \cdot 8{,}4 = 0{,}19\,(\text{сек.}) \qquad (2.3)$$

З іншого боку, слід враховувати обмеження, згідно з яким зміщення машини за проміжок часу Δt не повинно перевищувати ширину робочої лопати b, тобто:

$$b = V_{\text{м}} \frac{\Theta}{\omega} = 2{,}0 \cdot 0{,}19 = 0{,}38\ (\text{м}). \qquad (2.4)$$

Виходячи із виразу (2.4), маємо:

$$\frac{\omega}{V_{\text{м}}} = \frac{\Theta}{b}$$

Впроваджуючи отримані значення в рівняння (2.3), досягаємо:

$$\lambda = \frac{R\Theta}{b}. \qquad (2.5)$$

Враховуючи необхідність, що характеризується обмеженням $\lambda \geq 1$, можна констатувати:

$$\frac{R\Theta}{b} \geq 1. \qquad (2.6)$$

Отже, максимальна ширина сукупної робочої лопаті загального очисного вала не повинна перевищувати визначене значення:

$$b \leq R\Theta \leq 0{,}24 \cdot 3{,}14 / 2 = 0{,}38\ (\text{м}) \qquad (2.7)$$

Враховуючи співвідношення (2.4) та (2.7), встановимо значення ширини однієї лопаті. При цьому, загальну кількість очисних секцій горизонтального валу визначимо як 5.

Відтак:

$$R\Theta / n > b_{л} > 0{,}38 / 5 \cong 0{,}08\ (\text{м}). \qquad (2.8)$$

З метою встановлення раціональних характеристик робочого органу розглянемо модель взаємодії леза з плодовою частиною рослини.

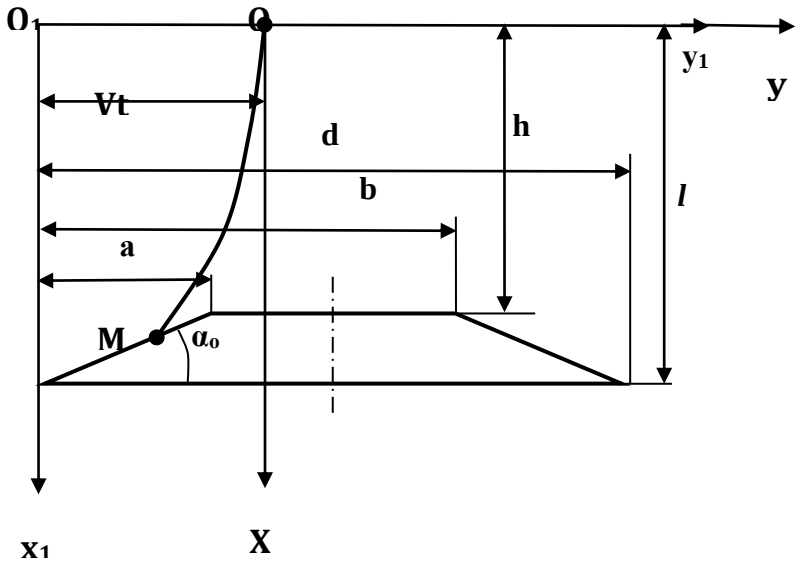

Рис. 2.6. схематичне представлення ключових параметрів зони контакту між об'єктом впливу (головкою коренеплоду) та робочим органом

Зафіксуємо нерухому систему координат $O_1Y_1X_1$ відносно зовнішньої поверхні коренеплоду буряка (див. рис. 2.6). Рухому систему координат OXY розмістимо таким чином, щоб її початок співпадав з точкою фіксації лопаті О. Позначимо координати довільної точки M, що знаходиться на дистальному кінці лопаті, як X та Y. Вказана точка в певний момент часу контактує з поверхнею буряка та здійснює рух по радіусу r робочого елементу. Тоді, координати точки М у нерухомій системі координат $o_1y_1x_1$ визначаються як:

$$x_1=X,\ y_1=Y+Vt, \tag{2.9}$$

де $V=\frac{\pi n}{30}r$ - периферійна швидкість робочого елемента;

n – частота обертання, хв$^{-1}$;

r – радіус робочого органу, м;

t – тривалість переміщення агрегату, с.

Визначаємо лінійну швидкість периферії очисного елемента:

$$V = \frac{\pi n}{30} R = 3{,}14 \cdot 84 \cdot 0{,}24 / 30 = 2{,}2 \text{ (м/с).}$$

Розглянемо задачу визначення аналітичного виразу серединної поверхні лопаті. З метою аналізу виділимо елемент довжиною *ds* з тіла однорідної лопаті. Для сили *Q = Q(s),* спрямованої паралельно осі *OY*, сили *N = N(s),* спрямованої паралельно осі *OX*, та згинального моменту *M = M(s),* що діють у поперечних перерізах виділеного елемента, оберемо позитивні напрямки.

У даному дослідженні зсувом та інерцією обертання елементів лопаті знехтуємо. Також припустимо, що масою лопаті можна знехтувати.

Враховуючи зазначені спрощення, умови рівноваги елемента *ds* в проєкціях на осі *OY* та *OX* набувають вигляду:

$$\frac{dQ}{ds} = 0, \qquad \frac{dN}{ds} = 0, \tag{2.10}$$

за умови, що *Q i N* є незмінними величинами.

Згинальний момент у поперечному перерізі пружно-в'язкого стержня, що описується законом Фойгта, обчислюється за наступною формулою:

$$M = c\left(k + \eta \frac{\partial k}{\partial t}\right), \tag{2.11}$$

де $c = EI$ - жорсткість поперечного перерізу при згині;

E – модуль пружності матеріалу;

I – момент інерції площі поперечного перерізу;

η – коефіцієнт в’язкості лопаті;

κ – кривина зігнутої осі.

Загальне рівняння, що описує обертальний рух тіла навколо горизонтальної осі, яка проходить через його центр мас *O2*, є наступним:

$$\frac{dM}{ds} = Q\cos\varphi - N\sin\varphi, \tag{2.12}$$

де φ – кут повороту лопаті.

Профіль поверхні коренеплоду, що взаємодіє з робочим органом, апроксимується трьома лінійними сегментами. Горизонтальна та вертикальна складові реакції, прикладені до робочого органу, визначаються:

$$\begin{aligned} N &= R\cos(\gamma+\alpha); \\ Q &= R\sin(\gamma+\alpha), \end{aligned} \tag{2.13}$$

де $\alpha = \begin{cases} \alpha_o, & на \quad AB, \\ 0, & на \quad BC, \\ -\alpha_o, & на \quad CD, \end{cases}$

Впроваджуючи отримані вирази для N і Q, представлені у рівнянні (2.13), у формулу (2.12), досягаємо наступного:

$$\frac{dM}{ds} = R\sin(\gamma+\alpha)\cos\varphi - R\cos(\gamma+\alpha)\sin\varphi = -R\sin(\varphi-\gamma-\alpha). \tag{2.14}$$

Виходячи з граничної умови, та застосовуючи співвідношення (2.12), отримаємо:

$$\frac{d\varphi}{ds}(l) = 0, \tag{2.15}$$

де l – довжина лопаті.

Отже, спираючись на виведений вираз, можемо сформулювати наступне:

$$0 = 2n^2\cos(\varphi_1 - \gamma - \alpha) + A, \tag{2.16}$$

де φ_1 – кут обертання кінця лопаті.

Далі

$$\left(\frac{d\varphi}{ds}\right)^2 = 2n^2\left[\cos(\varphi-\gamma-\alpha) - \cos(\varphi_1-\gamma-\alpha)\right]. \tag{2.17}$$

У результаті відповідних маніпуляцій ми отримаємо

$$ds = \frac{d\varphi}{\sqrt{2}\,n\sqrt{\cos(\varphi-\gamma-\alpha)-\cos(\varphi_1-\gamma-\alpha)}}. \tag{2.18}$$

Тоді

$$ds = \frac{d\varphi}{\sqrt{2}\, n\, \phi} \tag{2.20}$$

Виконуючи інтегрування рівняння (2.20) вздовж пружної лінії, отримуємо значення довжини лопаті

$$l = \int_0^l ds = \frac{1}{\sqrt{2}\, n} \int_0^{\varphi_1} \frac{d\varphi}{\phi}. \tag{2.21}$$

Отримана залежність (2.21) описує динаміку результуючої сили взаємодії між очисним елементом та коренеплодом як функцію положення точки контакту відносно дистального краю робочої поверхні лопаті.

В результаті чисельного розв'язання представленого рівняння було визначено, що геометрична протяжність лопаті складає 0,24 м.

2.3. Особливості взаємодії очисної лопаті з поверхнею головки коренеплоду.

На основі проведеного аналізу літературних джерел та враховуючи конструктивні особливості розробленого нового робочого органу очисника головок коренеплодів від залишків гички, проведено аналітичне дослідження процесу взаємодії одиничної очисної лопаті з поверхнею головки цукрових буряків. При цьому передбачається, що більшість гички з головки буряку вже видалена гичкозбиральною машиною, тобто коренеплід розглядається як нерухоме тіло з верхньою частиною у вигляді півсфери радіусом *r*. Одинична лопать під час контакту торкається півсфери у точці *C* і, згинаючись у двох площинах, обтікає півсферу та ковзає по її поверхні (рис. 2.7).

До сферичної поверхні головки коренеплоду приєднаємо нерухому декартову систему координат *OXYZ*, розташувавши точку *O* у центрі півсфери. Розглянемо сили, що виникають у точці С контакту лопаті з головкою коренеплоду. Під дією обертального моменту приводу лопаті та поступального руху машини очисна лопать зазнає деформації згину і кручення, які обумовлені дією сили — корисної робочої сили, що забезпечує зчісування залишків гички

з головки коренеплоду. У точці *C* діють також сила тяжіння G, спрямована вертикально вниз, і вектор прикладеної сили тертя, що направлений протилежно до швидкості руху точки С по поверхні головки. Відцентрова сила, що діє в точці *C*, відхиляє лопать у радіальному напрямку її обертання. Таким чином, моделювання взаємодії очисної лопаті з поверхнею головки цукрового буряку можна представити як рух матеріальної точки С під дією сил: $\overline{P}$, $\overline{N}$, $\overline{F_{тр}}$, $\overline{F_{ц}}$, де $\overline{N}$ — нормальна реакція поверхні контакту.

Використовуючи векторне представлення, рівняння динаміки лопаті, що взаємодіє з поверхнею коренеплоду, набуває наступного вигляду:

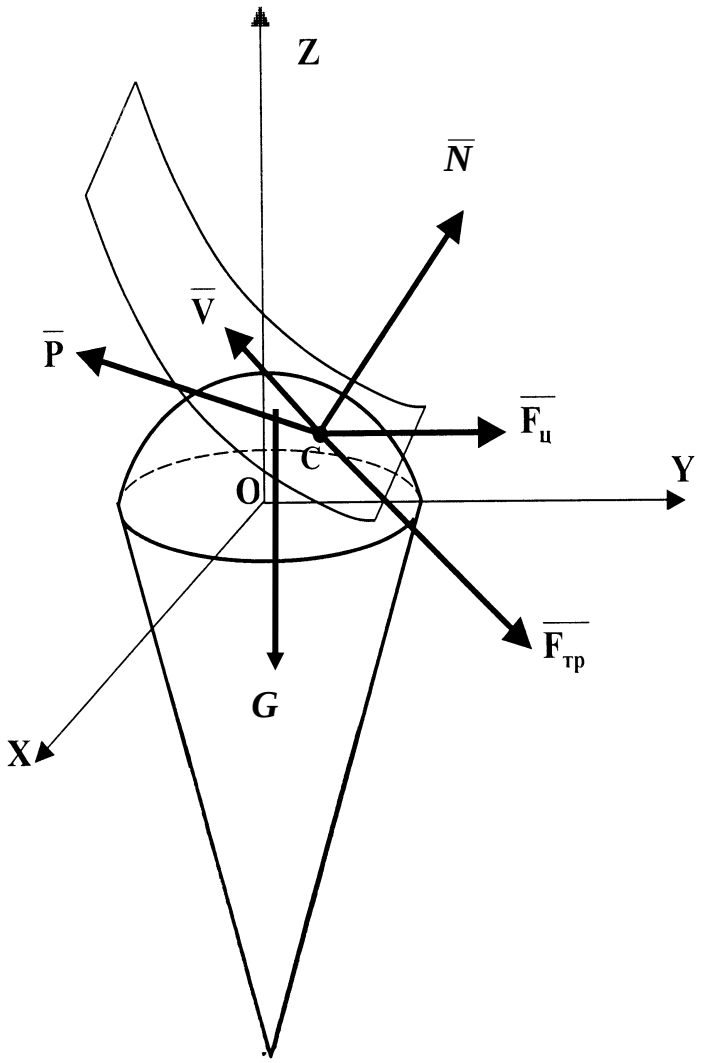

Рис. 2.7. Схематичне зображення взаємодії очисної лопаті з головкою коренеплоду

$$m\overline{W} = \overline{P} + \overline{N} + \overline{F_{тр}} + \overline{F_{ц}}\,. \qquad (2.22)$$

Визначимо аналітичні вирази для елементів, що формують праві частини рівнянь (2.22). Сформулюємо математичні співвідношення для обчислення модуля тертя ($\overline{F_{тр}}$), та відцентрової сили ($\overline{F_{ц}}$) а також її компонентів у проєкціях на осі абсцис *Ox* та ординат *Oy:*

$$F_{тр} = f_m N, \tag{2.23}$$

де f_m - коефіцієнт тертя між лезом і поверхнею цукрового буряка.

$$\begin{cases} F_{ц} = m\omega^2 R \\ F_{ц\,x} = m\omega^2 R\cos\omega t \\ F_{ц\,y} = -m\omega^2 R\sin\omega t \end{cases}, \tag{2.24}$$

де m - маса лопаті, кг;

ω - кутова швидкість обертання робочого елемента, рад/с;

ωt - кут повороту лопаті за проміжок часу, *t*.

Відповідно до принципу суперпозиції, проаналізуємо деформації згину та кручення лопаті окремо. Згин відбувається через контакт лопаті з головкою коренеплоду під час руху машини вздовж рядка, а також внаслідок дії відцентрової сили обертання робочого елемента.

Уявімо лопать у вигляді балки, жорстко закріпленої з одного боку (точка А на рисунку 2.8), на яку впливає сила на відстані від її незакріпленого краю.

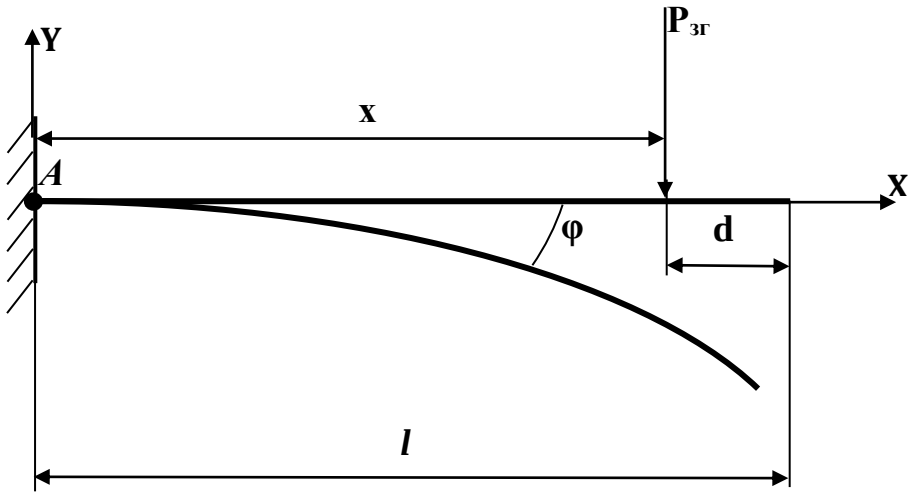

Рис. 2.8. Схема деформації очисної лопаті під дією згинальної сили

Силу $P_{зг}$ можна встановити, виходячи з диференціального рівняння прогнутої осі балки. Згинальний момент у поперечному перерізі на відстані від початку координат описується як:

$$M_x = -P_{зг}(l - d - x). \tag{2.25}$$

Визначимо значення кута та величину деформації лопаті у місці її дотику $x = l - d$ з буряком (точка С).

Для кута повороту лопаті:

$$\varphi(l-d) = -\frac{P_{зг}}{EJ}\left[(l-d)^2 - \frac{(l-d)^2}{2}\right], \tag{2.26}$$

або

$$\varphi(l-d) = -\frac{P_{зг}}{2EJ}(l-d)^2. \tag{2.27}$$

Для оцінки рівня деформації лопаті

$$y(l-d) = -\frac{P_{зг}}{EJ}\left[\frac{(l-d)^3}{2} - \frac{(l-d)^3}{6}\right], \tag{2.28}$$

або

$$y(l-d) = -\frac{P_{зг}}{EJ}(l-d)^3. \tag{2.29}$$

Якщо задано $\varphi(l)$ або $y(l)$, можливо обчислити $P_{зг}$ на основі кута повороту $\varphi(l)$

$$P_{зг} = -\frac{2EJ\varphi(l)}{l^2} \tag{2.30}$$

та від міри викривлення $y(l)$

$$P_{зг} = -\frac{3EJ\,y(l)}{l^3} \tag{3.31}$$

Сила $P_{пр}$, що дорівнює за абсолютною величиною, але протилежна за напрямком дії, є силою притискання лопаті до головки коренеплоду. Ця сила є корисною, оскільки забезпечує зрізання гички в результаті деформації на вигин.

З достатньою точністю можна припустити, що ця сила діє у напрямку руху агрегату вздовж рядка.

Далі ми розглянемо скручування лопаті очисника, яке виникає при обертанні робочого елемента навколо осі.

Деформація скручення лопаті зумовлена крутним моментом, що передається від валу приводу робочого елемента. Припустимо, що лопать має форму вала прямокутного перерізу $h \times b$, де h - товщина лопаті, а b - ширина лопаті.

Загальновідомо, що кут скручування валів прямокутної форми розраховується за формулою:

$$\Theta = \frac{M_{кр} l}{G J_k}, \tag{2.32}$$

де $M_{кр}$ - момент, що скручує вал, Нм;

l - довжина валу, м;

G - модуль зсуву матеріала;

J_k - полярний момент інерції перерізу.

Формула моменту інерції J_k визначається як:

$$J_k = \alpha\, h^4. \tag{2.32}$$

Значення коефіцієнта α визначається відношенням $b:h$ і береться з відповідних таблиць. Обчисливши кут скручування Θ, за допомогою формули (2.32) можна знайти момент кручення, що спричиняє скручування:

$$M_{кр} = \frac{G I_k \Theta}{l}. \tag{2.33}$$

У цьому випадку, крутний момент $P_{кр}$ дорівнюватиме:

$$P_{кр} = \frac{M_{кр}}{b}, \tag{2.34}$$

де b - ширина лопаті.

Сила $P_{кр}$, що має таку ж величину, але протилежний напрямок до початкової, виступає ефективною силою P_k, яка сприяє видаленню гички

завдяки пружності лопаті під час її скручування. Можна припустити, що ця сила діє по дотичній до шляху обертання лопаті навколо головки буряка.

Отже, кінцева сила відриву гички $P_з$ дорівнюватиме:

$$\overline{P_з} = \overline{P_{пр}} + \overline{P_k}\,. \tag{3.40}$$

У розкладанні на координатні осі отримаємо:

$$P_{прx} = P_{пр},\ P_{прy} = 0,\ P_{прz} = 0,\ P_{kx} = P_k \sin\omega t,\ \ P_{ky} = P_k \cos\omega t,\ \ P_{kz} = 0$$

Окреслимо значення P_x і P_y

$$\begin{cases} P_x = -P_k\, sin\,\omega t, \\ P_y = -\left(P_{пр} + P_k\, cos\,\omega t\right), \end{cases} \tag{2.41}$$

Після підстановки значень для P_k і $P_{пр}$ набуває вигляду:

$$P_x = -EJ\left(\frac{2\varphi(l)}{l^2} - \frac{\Theta}{2(1+\mu)lb}\right)\sin\omega t \tag{2.42}$$

$$P_y = -\left(\frac{2EJ\varphi(l)}{l^2} + EJ\left(\frac{2\varphi(l)}{l^2} - \frac{\Theta}{2(1+\mu)lb}\right)\cos\omega t\right) \tag{2.43}$$

Аналіз залежності сили зрізу від тривалості контакту робочого органу з головкою коренеплоду (рис. 2.9) показує, що підвищення модуля пружності лопаті призводить до зростання сили зрізу. Це може негативно позначатися на цілісності головок коренеплодів, підвищуючи ризик їх пошкодження. Навпаки, зменшення модуля пружності знижує величину прикладеної сили, що може бути недостатньо для ефективного зчісування залишків гички. У результаті погіршується якість очищення коренеплодів, яка не відповідає встановленим агротехнічним критеріям. Отже, для забезпечення оптимальної роботи очисника необхідно визначити баланс між жорсткістю лопаті та величиною прикладеної сили, щоб досягти високої якості очищення без пошкодження головок коренеплодів.

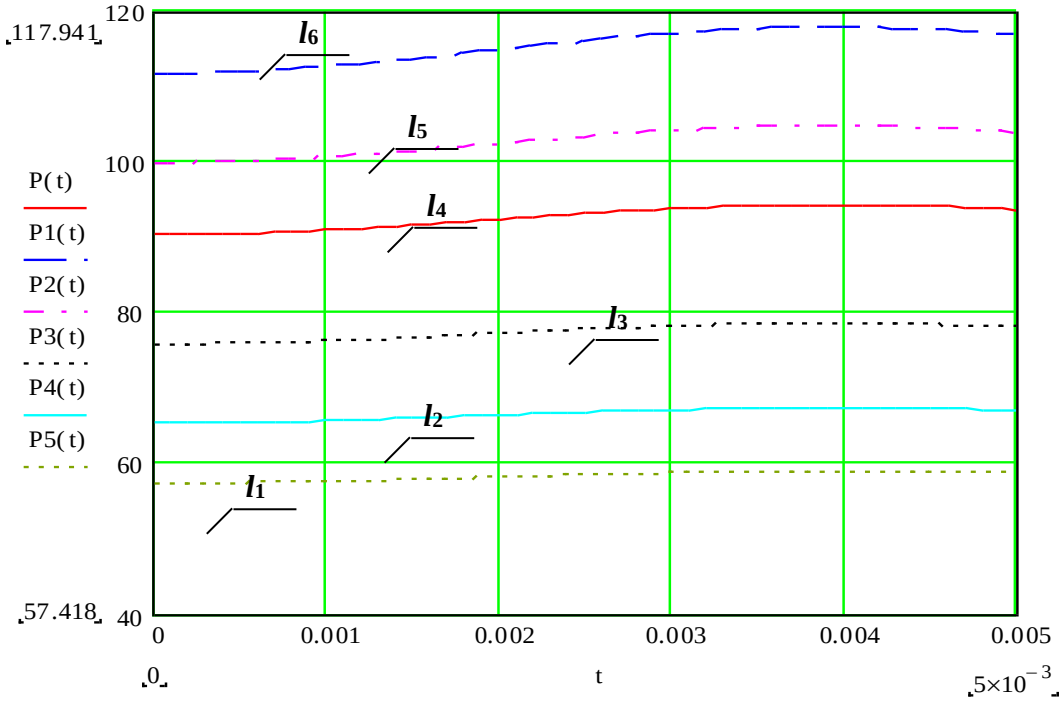

Рис. 2.10. Вплив часу на адгезійну міцність при різній протяжності лопаті (l1= 32 см, l2= 28 см, l3= 24 см, l4= 20 см, l5= 18 см, l6= 16 см) за умови постійної ширини лопаті 3 см

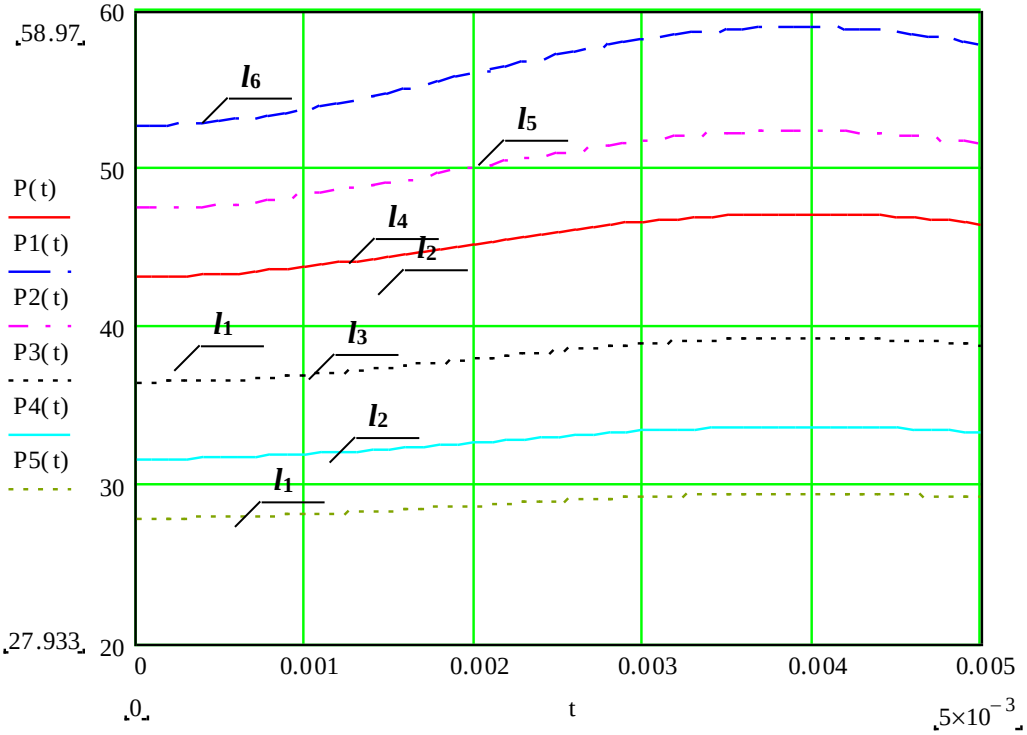

Рис. 2.11. Залежність адгезійної сили від тривалості контакту для різних значень довжини робочого елементу (l1= 32, l2= 28, l3= 24, l4= 20, l5= 18, l6= 16 см) при фіксованій ширині 5 см

З метою відокремлення черешків гички, необхідно забезпечити прикладання зусилля певної величини $P \approx 30H$. Зазначені залежності були отримані для лопаті з наступними геометричними параметрами: довжина становить 24 см, а ширина – 4,5 см.

На ілюстраціях 2.10 та 2.11 представлені графічні відображення залежності прикладеної сили (Р) від тривалості контакту лопаті з головкою коренеплоду при варіативних значеннях довжини та ширини лопаті.

З аналізу графічних даних (рис. 2.10, 2.11) випливає, що величина зусилля відокремлення (Р) істотно залежить як від лінійних розмірів лопаті, так і від її ширини. На основі проведеного аналізу можна констатувати, що оптимальними характеристиками робочої лопаті є: ширина в діапазоні 4...5 см та довжина в межах 20...25 см. За таких параметрів сумарна сила взаємодії очисної лопаті з головкою коренеплоду не перевищує встановленого допустимого значення у 30 Н.

РОЗДІЛ 3.
ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Загальні положення з безпеки праці під час експлуатації доочисника головок коренеплодів.

Доочисник головок коренеплодів повинен відповідати вимогам ДСТУ 2189 за визначеними пунктами (1.1–1.40, 2.4.1), що регламентують його конструктивні, технічні та експлуатаційні характеристики. Конструкція і розміщення складових частин мають забезпечувати вільний доступ до вузлів для обслуговування, безпечність під час монтажу, експлуатації, очищення та ремонту. Електрообладнання і електропроводка доочисника повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.019-76, а рівень шуму на робочому місці тракториста — не перевищувати норм, визначених ГОСТ 12.1.003-76. Зусилля опору органів керування не повинно бути більшим за показники, встановлені ГОСТ 12.2.120-78, а вібраційне навантаження в зоні робочого місця має відповідати санітарним нормам згідно з ГОСТ 12.1.012-76.

Рухомі елементи передач необхідно закривати захисними кожухами, а машина може бути оснащена власною світловою сигналізацією. Місця розташування мастильниць повинні мати кольорові покажчики, що контрастують із загальним кольором машини. На рамі обов’язково наносяться позначення місць стропування та установки домкратів відповідно до ГОСТ 14192-78. У видимих зонах мають бути розміщені попереджувальні написи й таблички, що забезпечують безпечну експлуатацію: зокрема, “Регулювання та очистку проводити лише при непрацюючому двигуні трактора”, “Не стій біля очисних валів”, а також знаки обмеження швидкості, габаритів і місць строповки.

Доочисник головок має комплектуватись чистиком із передбаченим місцем для його кріплення, а приєднання машини до трактора повинно гарантувати безпеку тракториста та забезпечувати добру оглядовість робочої

зони. На обох кінцях рами встановлюються світлоповертачі або світлоповертаюча плівка, а також противідкочувальні упори для фіксації коліс. При роз’єднанні з трактором машина має залишатися стійкою. Габарити доочисника повинні відповідати нормам ДСТУ 2189, а місця для стропування та встановлення домкратів необхідно чітко позначати контрастною фарбою згідно з вимогами ГОСТ 14192-78.

3.2. Напрями вдосконалення умов праці персоналу.

Захист працівників, які обслуговують сільськогосподарську техніку, від впливу ґрунтового (психогенного) пилу є одним із найважливіших завдань при вдосконаленні сучасних машин і агрегатів. Джерелом утворення пилу є ходові частини тракторів, робочі органи машин, а також процеси вітрової ерозії, що залежать від типу, складу та вологості ґрунтів. Особливо актуальним це питання є для регіонів із підвищеним радіоактивним фоном, який сформувався після аварії на Чорнобильській АЕС. Дослідження показують, що вміст радіонуклідів у ґрунтовому пилу в десятки разів перевищує їхню концентрацію у верхньому орному шарі ґрунту.

За даними Міністерства охорони здоров’я України, серед працівників агропромислового комплексу, які займаються обробітком ґрунту, сівбою, збиранням та первинною переробкою сільськогосподарських культур, спостерігається зростання захворювань органів дихання. Подібні тенденції фіксуються у працівників вугільної, гірничої та будівельної промисловості, що свідчить про небезпеку тривалого впливу пилу. На сьогодні ґрунтовий пил є одним із найнебезпечніших факторів виробничого середовища в сільському господарстві. Його концентрація у повітрі не повинна перевищувати 4 мг/м³, адже при наявності радіоактивних частинок пил стає особливо шкідливим для здоров’я людини.

Кількість пилу, що накопичується в органах дихання за одну робочу зміну, визначається за формулою:

$$П=60 \cdot n \cdot K \cdot V \cdot \mu \cdot \rho \cdot i, \quad (3.1)$$

де П - кількість пилу, що накопичується в легенях людини за зміну, мг;

n – частота дихання за хвилину;

К – тривалість робочої зміни, год;

V – об’єм повітря за один вдих, м³;

μ – концентрація пилу в повітрі, мг/м^3;

ρ – коефіцієнт затримання пилу в легенях;

і – коефіцієнт інтенсивності праці;

Параметри дихання залежать від фізіологічного стану працівника, рівня навантаження та мікрокліматичних умов. Для зменшення кількості пилу, що накопичується в організмі, необхідно мінімізувати коефіцієнт його затримки ρ та концентрацію пилу μ шляхом очищення повітря, що надходить до органів дихання. Також доцільно покращити умови праці, зменшивши фізичні навантаження і тривалість робочої зміни.

Отже, покращення умов праці можна досягти як організаційними методами (скорочення тривалості зміни, зниження інтенсивності роботи), так і технічними — через удосконалення машин, зниження рівня запиленості та впровадження ефективних систем очищення повітря. Основне завдання полягає у зменшенні запиленості робочих місць, особливо на територіях із підвищеним рівнем радіоактивного забруднення.

Для цього пропонується три напрями вирішення проблеми:

1. створення ефективних засобів індивідуального захисту органів дихання;

2. розробка герметизованих кабін операторів із системами подачі очищеного повітря;

3. удосконалення робочих органів машин для зменшення пилоутворення або відведення пилу з робочої зони.

Найбільше пилоутворення під час збирання коренеплодів відбувається в зоні дії викопувальних органів (дисків, лемешів, вилок), а також за ходом руху коліс і очисних валів. Утворені вихрові потоки піднімають дрібнодисперсний

пил до рівня дихання працівників. Особливо це стосується старих моделей тракторів (МТЗ-80, ЮМЗ-6), у яких відсутні фільтри очищення повітря — пил проникає через щілини дверей, вікон та технологічні отвори.

3.3. Удосконалення умов експлуатації за допомогою розробленого пристрою.

З метою покращення умов праці операторів було розроблено спеціальні пристрої для очищення повітря від пилу з подальшою його подачею до кабіни тракторів МТЗ-80 (ЮМЗ-6). При цьому створюється надлишковий тиск у кабіні, що запобігає потраплянню пилу ззовні. Додатково передбачено пристосування для осадження пилу, який утворюється внаслідок роботи очисних органів коренезбиральної машини.

Зовнішнє повітря засмоктується вентилятором, який приводиться в дію від електродвигуна, або подається у рідинний повітроочисник барботажного типу. У цьому пристрої частинки пилу відділяються від повітряного потоку, після чого очищене повітря надходить по трубопроводу в кабіну, створюючи в ній невеликий надлишковий тиск. Такий тиск ефективно запобігає проникненню пилу в робочу зону оператора.

Конструкція повітроочисника передбачає можливість регулювання ступеня очищення повітря залежно від необхідного рівня надлишкового тиску в кабіні, що забезпечує адаптивність системи до різних умов роботи та сприяє підвищенню комфортності праці механізатора.

РОЗДІЛ 4.
АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ДООЧИСНИКА

4.1. Розрахунок економічних показників ефективності використання пристрою.

На основі аналізу показників економічної результативності можливо встановити експлуатаційні видатки, а саме: відрахування на відновлення, капітальний та поточний ремонт, технічне обслуговування, виплату заробітної плати, витрати на паливно-мастильні матеріали, а також оцінити якісні та кількісні характеристики продукції, отриманої з використанням порівнюваної техніки.

Обчислення економічних показників здійснено з урахуванням додаткового економічного впливу, зумовленого зменшенням значних пошкоджень коренеплодів та їх забрудненості після процесу додаткового очищення, а також враховуючи витрати на транспортування буряків до пункту приймання.

Первинні дані для розрахунку економічної результативності машини, оснащеної лопатевим очисником, наведено у таблиці 4.1. Показники економічної ефективності застосування шестирядної машини з удосконаленими робочими елементами були визначені шляхом порівняння з базовою моделлю.

Економічний ефект від зменшення втрат визначається згідно з наведеною формулою:

$$E_k = W_з T_p Yac, \tag{4.1}$$

де $W_з$ - продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год:

T_p - планове річне навантаження обладнання, год;

$У$ - середня продуктивність буряків з гектара, т;

a - підвищення обсягу збору цукрових буряків досягнуто завдяки мінімізації втрат (пошкоджених коренеплодів) у дослідному зразку техніки, що демонструє перевагу над базовим зразком:

$$a = \frac{2{,}2 - 1{,}1}{100} = 0{,}011$$

c – вартість закупівлі цукрових буряків становить с грн/т (с=500 грн/т; значення станом на 01.11.2021 р.).

З урахуванням наведеного вище, маємо:

$$E_k = 1{,}1 \times 300 \times 23{,}4 \times 0{,}011 \times 500 = 38775 \text{ грн}$$

Таблиця 4.1

Необхідні відомості для здійснення розрахунку економічної вигоди

Показник	Міра виміру	Стандартна модель	Удосконалена модель
Запланований обсяг річного виробництва (T_p)	год	300	300
Рівень забруднення коренеплодів		2,1	0,8
Вихідна потужність за годину варіативного часу ($W_з$)	га/год	1,1	1,1
Провідні показники якості	%		
Втрати внаслідок псування коренеплодів		2,2	1,1
Значні ушкодження коренеплодів		3,8	1,7
Середня врожайність ($У$)	т/га		23,4

Сукупний економічний вплив на гектар зібраної площі становить:

$$E' = \frac{E_k}{W_з T_p} = 117{,}5 \text{грн/га} \qquad (4.2)$$

Загальний економічний зиск, отриманий від мінімізації руйнувань, визначається функціональною залежністю:

$$E_{ДОД} = 0{,}95 \times 10^{-5}(X_1 - X_2)QmtkC_1 - 10^{-4}(X_1 - X_2) \times \\ \times [D_r - t(0{,}0104 + 0{,}00095X_2)]QmkC_2 \qquad (4.3)$$

де X_1 і X_2 - відсотковий вміст значно пошкоджених коренеплодів, зібраних базовою та модернізованою коренезбиральними машинами,

відповідно;

Q - загальний обсяг зібраних буряків за сезон, у тоннах;

D_r - початковий вміст цукру в коренеплодах, виражений у відсотках (Dr = 14%);

m - частка сировини, призначеної для зберігання (m = 0,4);

t - середня тривалість зберігання буряків на цукровому заводі, у днях (t = 30);

k - коригувальний коефіцієнт;

C_1- оптова ціна цукру, в гривнях за тонну;

C_2 - прямі витрати на виробництво однієї тонни цукру.

Кількість зібраних буряків за сезон визначається згідно з відповідною залежністю:

$$Q = УW_з T_p = 23{,}4 \times 1{,}1 \times 300 = 7722\, m, \quad (4.4)$$

де $У$- середньостатистична врожайність цукрових буряків, вимірювана в тоннах на гектар, т/га;

$W_з$ - погодинна продуктивність агрегату протягом зміни, га/год;

T_p - запланований річний час експлуатації агрегату, год;

Коригувальний множник обчислюється як результат множення відповідних коефіцієнтів:

$$k = k_1 k_2 k_3, \quad (4.5)$$

де $к_1$ - коефіцієнт, що характеризує якість підготовки буряків до переробки, $к_1$ = 0,9;

$к_2$ - коефіцієнт, що враховує зниження маси буряків у проміжок часу між їх прийманням та безпосередньою переробкою, $к_2$ = 0,96;

$к_3$ - коефіцієнт, що відображає об'єм виходу цукру з вихідної сировини, $к_3$ = 0,75.

Економічна доцільність впровадження удосконалень $E_{дод}$ становить 1029,31 грн, що еквівалентно 3,12 грн/га на одиницю площі обробленої землі.

Очікується, що внаслідок модернізації обладнання буде досягнуто економічної ефективності за рахунок скорочення витрат, пов'язаних з

транспортуванням коренеплодів цукрових буряків до пункту їх переробки.

Обсяг перевезення цукрових буряків визначається:

$$W_{з.в.} = \frac{B}{T_ц}, \quad (4.6)$$

де B - максимальна маса корисного вантажу причепа, т:

$T_ц$ - тривалість одного повного циклу транспортування, год.

Вважаючи, що транспортування здійснюється трактором ЮМЗ-6Л з причепом 2ПТС-4 на дистанцію 12 км, вантажопідйомність причепа, виражена в тоннах чистої продукції коренеплодів буряка, визначається як:

$$B = \frac{q}{100} Ч, \quad (4.7)$$

де q - номінальна вантажопідйомність причепа (наприклад, для 2ПТС-4 вона становить 4 тонни);

$Ч$ - показник чистоти маси коренеплодів, зібраних базовою та модернізованою сільськогосподарськими машинами, обчислений як різниця між загальною масою та вмістом домішок.

Відповідно, $B_б$= 3,75 т; $B_м$= 3,85 т.

Таблиця 4.2

Економічні елементи оцінювання ефективності

Параметри	Суть параметрів		Зменшення (збільшення) загальних показників, %
	Стандартна машина	Нова машина	
Сукупні витрати, грн/га	275,79	269,42	2,4
Оплата праці, грн/га	8,27	8,04	2,8
Річний економічний ефект з 1 га, грн.	-	2102,1	-
Витрати на паливно-мастильні матеріали, грн/га	90,49	88,37	2,4
Чисельність транспортних засобів, од.	6,24	6,08	2,6
Прямі операційні витрати, грн./га	234,8	229,36	2,4
Питомі капітальні інвестиції, грн./га	273,28	267,04	2,3
Витрати на капітальний ремонт та технічне обслуговування, грн/га	92,57	90,41	2,4

Звідси:

$$П_б=90,49 \text{ грн/га}; \qquad П_м=88,37 \text{ грн/га}$$

Прямі операційні витрати, грн./га:

$$В_п = З+А+Р+П;$$

$$В_{пб} = 8,27+43,53+92,51+90,49 = 234,8 \text{ грн/га};$$

$$В_{пм} = 8,04 + 42,54 + 90,41 + 88,37 = 229,36 \text{ грн/га}$$

Питомі капітальні інвестиції за формулою:

$$К_П = \frac{Б}{W_{зв}T_{рт}}У, \tag{4.8}$$

$$К_{пб}=273,28 \text{ грн/га}; \qquad К_{пм}=267,04 \text{ грн/га}$$

Витрати в розрахунку на один гектар визначаються як:

$$П_{пит} = е \cdot К_п + В_п,$$

де $е$ - показник, що визначає прийнятний рівень віддачі на вкладений капітал ($е$ = 0,15).

$$П_{пит.б} = 0,15 \times 273,26 + 234,8 = 275,79 \text{ грн/га:}$$

$$П_{пит.м} = 0,15 \times 267,04 + 229,36 = 269,42 \text{ грн/га.}$$

Сукупний економічний вплив зниження забрудненості коренеплодів цукрових буряків на площі одного гектара становить:

$$Е'_д = П_{пит.б} - П_{пит.м} = 275,79 - 269,42 = 6,37 \text{ грн/га.}$$

Сукупний економічний вплив за рік становить:

$$Е_д = Е'_д \times Wз \times Т_р = 6,37 \times 1,1 \times 300 = 2102,1 \text{ грн.}$$

4.2. Висновки по розділу.

Оновлена машина продемонструвала покращену продуктивність при транспортуванні коренеплодів, збільшившись із 3,75 т до 3,85 т, що становить приріст у 2,6%. Підвищення продуктивності при перевезенні коренеплодів

сприяло скороченню приведених витрат із 275,79 грн/га для базової машини до 269,42 грн/га для модернізованої, що відповідає зниженню на 2,4%.

Прямі експлуатаційні витрати зменшилися до 229,36 грн/га порівняно з базовою машиною (234,8 грн/га), тобто на 2,4%. Зменшення експлуатаційних витрат було досягнуто завдяки поліпшенню показників якості виконання технологічної операції викопування.

Економічний ефект від застосування розробленого доочисника головок коренеплодів на площі 1 га складає 2102,1 грн.

ВИСНОВКИ

Дослідження вітчизняних та зарубіжних моделей доочисників головок коренеплодів показало, що їх робочі характеристики здебільшого не відповідають агротехнічним нормам. Основні проблеми включають надмірний тиск робочих органів на головки коренеплодів, що викликає їх пошкодження, або недостатнє очищення при зменшенні зусилля; обмежений ресурс очисних елементів, які потребують заміни після обробки 15–20 га; а також неефективне видалення залишків гички та рослинних решток з робочого рядка, при якому 45–65 % матеріалу залишається на місці.

Підвищення ефективності процесу доочищення досягається шляхом удосконалення конструкції доочисника. Нова розробка включає два поздовжніх вали, на яких радіально встановлені еластичні лопаті з механізмом регулювання їхнього положення відносно осі обертання.

Розрахунково-математичне моделювання взаємодії одиничної лопаті з головкою коренеплоду у вигляді системи диференціальних рівнянь показало, що сила зчісування залишків гички значною мірою визначається модулем пружності матеріалу лопаті, її довжиною та шириною. Оптимальні габарити робочого елемента становлять: довжина лопаті l=0,2–0,25l = 0,2–0,25l=0,2–0,25 м, ширина b=0,04–0,05b = 0,04–0,05b=0,04–0,05 м.

Рекомендовані параметри роботи доочисника включають кутову швидкість обертання валів 73,2–78,5 рад/с, лінійну швидкість пересування 1,5–2,0 м/с та оптимальне розташування лопатей від поверхні ґрунту.

Впровадження запропонованого доочисника дозволяє підвищити якість очищення головок коренеплодів, знизити втрати продукції та забезпечує розрахунковий економічний ефект на рівні 2102,1 грн/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шевченко А.О. Погода, клімат, прогноз і урожай // Вісник аграрної науки. – 1991. – №9. – С. 48-52.

2. Погорілий Л.В., Брей В.В. Фізико-механічні властивості коренів цукрових буряків у зв'язку з механізацією процесу їх збирання // Вісник сільськогосподарської науки. – 1971. №3. – С 31-37.

3. Довідник буряковода / В.Ф.Зубенко, В.Т.Онопрієнко, В.В.Февчук та ін. За ред. В.Ф.Губенко. – 2-е вид., перероб. і доп. – К: Урожай, 1986. – 232 с.

4. Шабельник Б.П., Полупанов В.Н., Завгородний А.Ф., Бандура А.И., Савин А.М. Особенности развития и формирования кормовой свеклы к моменту уборки. – В кн.: Механизация и электрификация сельского хозяйства: Сборник научных трудов. Выпуск 62. Киев: Урожай, 1985. – С. 8-11.

5. Ушаков О.В. Комплексна механізація збирання цукрових буряків. – Київ: Видавництво УАСТН, 1960. – 178 с.

6. Гурченко О.П., Барановський В.М., Булгаков В.М. Відділення гички від коренеплодів методом відминання. – В кн. Інженерно-технічне забезпечення виробництва сільськогосподарської продукції в нових умовах господарювання / Глеваха, 17-20 листопада 1992 / Глеваха, 1992. – С. 81-82.

7. Ліннік, А. Ю., Диня, В. І., Семенів, І. І. «Обґрунтування конструкції і кінематичного режиму роботи ботоочисного пристрою». *Наукові горизонти* № 5 (78), 2019. — дослідження контактного очищення головок коренеплодів від гички, аналіз конструкцій, енергоефективність. sciencehorizon.com.ua

8. Стецюк, А. А. *Обґрунтування параметрів системи очищення вороху коренеплодів машини КБМ-6*. Магістерська робота, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, 2019. — модернізація системи очищення, підвищення інтенсивності очищення вороху. Elartu

9. Адамчук, В. В., Булгаков, В. М., Головач, І. В. та ін. «Дослідження конструктивної схеми нової гичкозбиральної машини». *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, Вип. 27, 2017. — запропонована

двоетапна схема (зріз + доочищення) для зменшення залишків гички. journals.pdu.khmelnitskiy.ua

10. Булгаков, В. М., ін. «Механіко-технологічні параметри нового очисника головок коренеплодів». *Механізація, електрифікація*, 2023. — експериментальні визначення оптимальних конструктивних і кінематичних параметрів. agrovisnyk.com

11. Цокало, Т. І. *Підвищення ефективності збирання цукрових буряків за технологічними схемами*. Дисертація / випускна кваліфікаційна робота, ЛНУП (або ін.). — аналіз різних фаз збирання, включно доочищення головок коренеплодів. repository.lnup.edu.ua

12. Волоха, М. «Первинне очищення викопаних коренеплодів від залишків ґрунту й гички». *Технічні науки / Аграрна інженерія*, 2024. — дослідження механізмів первинного очищення, вплив на чистоту коренеплодів. ageg.knuba.edu.ua

13. Барановський, В. М., Скальський, О. Ю. «Аналіз конструктивно-технологічних аспектів функціонування викопувальних робочих органів коренеплодів». *ISMSD (журнал)*, 2016. — розгляд копачів з точки зору одночасного викопування та очищення коренеплодів від рослинних домішок. naukajournal.org

14. Линник, А. Ю., Диня, В. І., Семенів, І. І. «Новий пристрій з вертикальною віссю для доочищення головок коренеплодів після зрізу гички». *Наукові горизонти*, 2019. — конструктивна схема комбінованого очищувача з ножами й пружними елементами. sciencehorizon.com.ua

15. Робочий орган експериментального дослідження: **Bulgakov, V., Budzanivskyi, M., Zach, M. et al.** «Experimental research on quality functioning of haulm residue remover from sugar beet epicotyl». (FAO AGRIS, 2023). — новий тип очисника з горизонтальними циліндрами та еластичними лопатями для видалення залишків гички з епікотилів. FAO AGRIS

16. Гевко, Р. Б. *Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин*. Звіт / технічний опис, 1997. — класичні рішення для доочищення головок буряка. DSpace WUNU

17. Іванчук, (прізвище) – (група авторів). *Технологічні параметри машин для збирання коренеплодів із доочищенням*. Магістерська робота / стаття (знайдений документ). (наприклад, згідно з джерелом у сховищі ВСАУ) socrates.vsau.org

18. Адамчук, В. В. та ін. «Теоретичне обґрунтування технологічної схеми збирання гички в дві стадії із доочищенням головок». *Подільський вісник*, 2017. — моделювання процесу і оптимальні режими. journals.pdu.khmelnitskiy.ua

19. Поліський університет (автори) *Підвищення якості цукросировини шляхом інтенсифікації очищення коренеплодів при їх викопуванні*. (документ з університетського репозиторію). ir.polissiauniver.edu.ua

20. Hevko, R.B., Tkachenko, I.G., Synii, S.V. «Advances in methods of cleaning root crops». *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II*. Vol. 11(60), № 1, 2018. — міжнародний огляд технологій очищення коренеплодів. ResearchGate

21. Ліннік, А. Ю., Диня, В. І., Семенів, І. І. «Конструкційні рішення очищувача з еластичними елементами для гичковідділення». *Наукові горизонти*, 2019. — поєднання копіювального диска і пружного очищувача. sciencehorizon.com.ua+1

22. Технічні науки / Агроінженерія (журнал). Budzanivskyi, M., (співавтори). «Development of the theory of root crop head cleaner in longitudinal-vertical plane». *TechnicalScience.com.ua*, 2023. — теорія руху очищувача. arXiv

23. Адамчук, В. В., Булгаков, В. М., Головач, І. В. «Оптимальний режим роботи двофазного збирання гички з доочищенням». *Журнал технічних наук*, 2017. — рекомендації щодо швидкості, висоти зрізу, кінематичних параметрів.