

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра інжинірингу технічних систем

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів обладнання  
для підготовки коренеплодів до згодовування**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-2-24

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Курятник Євгеній Юрійович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Івлєв Віталій Володимирович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Леперда Володимир Юрійович

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем  
Рівень вищої освіти: «Магістр»  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«24» жовтня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

\_\_\_\_\_ Курятнику Євгенію Юрійовичу \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів обладнання для підготовки коренеплодів до згодовування

керівник роботи: Івлєв Віталій Володимирович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 24 » жовтня 2025 року № 3182

**2. Строк подання студентом роботи** \_\_\_\_\_ 12.12.2025 р. \_\_\_\_\_

**2. Вихідні дані до роботи** Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування коренеплодів, зокрема мийок. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання і завдання дослідження. 2. Теоретичне дослідження барабанної мийки коренебульбоплодів. 2. Експериментальні дослідження процесу миття коренеплодів. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка зробленої мийки коренеплодів. Загальні висновки. Бібліографічний список .

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (2 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (2 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Івлєв В.В., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 24.10.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2025 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2025 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2025р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2025 р.	
5	Економічний	до 26.11.2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2025р.	

**Студент**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Курятник Є.Ю.  
(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Івлєв В.В.  
(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

Курятник Є.Ю. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів обладнання для підготовки коренеплодів до згодовування /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У дипломній роботі представлено обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів обладнання для підготовки кормових коренеплодів до згодовування. Основну увагу приділено вдосконаленню операції миття шляхом розроблення та оптимізації барабанної мийки з рециркуляцією води, що забезпечує підвищення якості очищення, зниження енерго- та водоспоживання, а також мінімізацію пошкоджень сировини. Проведено аналіз існуючих технічних рішень, створено математичну модель процесу очищення, з якої визначено взаємозв'язок між режимними параметрами обертання, гідродинамічним впливом водяних струменів та технологічними показниками. Розроблено методику експериментального визначення ефективності миття та виконано техніко-економічне обґрунтування модернізованої мийки. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження запропонованої конструкції у тваринницьких господарствах.

**Ключові слова:** коренеплоди, барабанна мийка, очищення, рециркуляція води, кінематика обертання, параметри сопел, ефективність миття, енергоспоживання, пошкодження сировини.

## ЗМІСТ

Вступ	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Огляд досліджень і існуючих засобів механізації миття коренебульбоплодів	10
1.1.1 Технології та засоби механізації підготовки коренебульбоплодів до згодовування	10
1.2.2 Машини для миття коренебульбоплодів	12
1.2 Класифікація способів і технічних засобів миття та очищення коренебульбоплодів	28
1.3 Висновки по розділу	33
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БАРАБАННОЇ МИЙКИ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ	37
2.1 Обґрунтування критеріїв ефективного використання енергетичних потоків	37
2.2 Теоретичне обґрунтування параметрів барабана коренебульбомийки	40
2.3 Теоретичне обґрунтування динаміки рідини	46
2.4 Висновки по розділу	50
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МИТТЯ КОРЕНЕПЛОДІВ	51
3.1 Експериментальна установка	51
3.2 Результати експериментальних досліджень	53
2.3 Висновки по розділу	56
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	58
4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі	

з мийкою коренеплодів	58
4.2 Оцінка небезпечних факторів з точки зору охорони праці при експлуатації мийки коренеплодів	59
4.3 Порядок дій під час артобстрілу	60
4.4 Висновки по розділу	61
5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОЇ МИЙКИ КОРЕНЕПЛОДІВ	62
5.1 Вихідні дані	62
5.2 Розрахунок показників економічної ефективності	62
5.3 Висновки по розділу	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
БІБЛІОГРАФІЯ	66
ДОДАТКИ	70

## ВСТУП

У сучасних умовах інтенсифікації тваринництва та підвищення вимог до якості кормів особливої уваги потребує підготовка коренеплодів до згодовування. Коренеплоди, такі як кормовий буряк, морква чи картопля, характеризуються значною кількістю мінеральних та органічних забруднень, що потрапляють у корм із ґрунтом. Надлишок домішок не лише погіршує поїдання кормів тваринами, але й спричиняє знос обладнання на наступних стадіях технологічного процесу - подрібнення, транспортування та змішування. Крім того, підвищений вміст піску та глини у раціоні негативно впливає на травну систему тварин, що призводить до зниження продуктивності.

Операція миття є однією з ключових у технологічній лінії підготовки коренеплодів до згодовування, оскільки саме на цьому етапі забезпечується максимальне видалення шкідливих домішок. Традиційно у тваринницьких господарствах застосовуються мийки різних типів - шнекові, барабанні, гідроканальні та комбіновані. Однак більшість із них характеризуються підвищеними витратами води, недостатньою ефективністю очищення у випадку клейких забруднень, високою енергоємністю або значним відсотком пошкоджень продукції.

Проблема раціонального вибору параметрів і конструктивних особливостей обладнання для миття коренеплодів є актуальною як для промислових підприємств, так і для господарств із середнім обсягом виробництва. Оптимізація гідромеханічного впливу на поверхню коренеплодів, удосконалення конструкції робочих органів і впровадження системи рециркуляції води дають змогу підвищити ефективність очищення, зменшити втрати сировини та скоротити експлуатаційні витрати.

Серед існуючих рішень найбільш перспективними для використання в

лініях підготовки кормів є барабанні мийки, які забезпечують поєднання механічної дії ліфтерів і гідродинамічного впливу водяних струменів. Правильний вибір геометрії барабана, частоти його обертання, конфігурації ліфтерів, способу подачі води та ступеня перфорації поверхні дозволяє досягти високої якості миття без надмірного травмування коренеплодів.

Таким чином, удосконалення конструкційно-технологічних параметрів барабанної мийки з урахуванням умов експлуатації на тваринницьких підприємствах є важливим науково-практичним завданням. Виконання такого завдання сприятиме підвищенню ефективності виробництва, покращенню зоотехнічних показників і зниженню ресурсних витрат.

## **1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **1.1 Огляд досліджень і існуючих засобів механізації миття коренебульбоплодів**

Заготівля, приготування та роздавання кормів є одним із ключових завдань тваринницької галузі. На всіх етапах цього процесу важливо забезпечити мінімальні втрати кормів і належні фізико-механічні властивості. Вимоги до якості кормів насамперед стосуються рівня їх забрудненості, наявності сторонніх домішок, а також ступеня подрібнення.

Технологічний процес підготовки кормів повинен виконуватися комплексом машин, об'єднаних в єдину технологічну лінію. Всі елементи такої лінії мають бути узгоджені між собою за продуктивністю та функціональним призначенням, що забезпечує безперервність і стабільність виробничого процесу.

#### **1.1.1 Технології та засоби механізації підготовки коренебульбоплодів до згодовування**

Технологічні схеми обробки коренебульбоплодів включають послідовне виконання двох і більше операцій, зокрема:

очищення → миття → подрібнення;

подрібнення → пропарювання → змішування;

пропарювання → змішування → дозування тощо.

До машин і технологічних процесів підготовки коренебульбоплодів висуваються такі основні вимоги:

Робочі органи обладнання не повинні завдавати пошкоджень чи спричинити значні втрати маси коренеплодів.

Миття має забезпечувати повне видалення ґрунтових забруднень. Допустимий залишковий вміст домішок не більше 2–3 %.

Час виконання операцій миття, подрібнення та теплової обробки повинен становити 1–3 години, щоб запобігти псуванню сировини - потемнінню, ослизненню, заморожуванню тощо.

Універсальність - здатність обробляти коренеплоди різних видів і розмірів.

Висока якість очищення і подрібнення за мінімальних витрат води та енергії.

Можливість регулювання часу перебування коренеплодів у зоні миття залежно від початкової забрудненості.

Простота очищення обладнання від бруду та відведення забрудненої води.

Максимальна механізація й автоматизація подавання та відбору продукту.

Доступність конструкції для швидкого обслуговування та заміни зношених деталей.

Компактність, простота конструкції, надійність і довговічність у роботі.

У технологічних лініях кормоприготування застосовуються коренемийки, коренерізки, подрібнювачі, запарники-змішувачі, варильні котли, парогенератори та інше обладнання.

Коренеплоди після збирання, як правило, містять значний відсоток мінеральних домішок (грунт, пісок) і сторонніх предметів (каміння, дерево, метал, скло тощо). Тому перед згодовуванням тваринам обов'язковим є їх очищення та миття. Рівень початкової забрудненості після збору може становити 12–20 % за масою.

Якість підготовки сировини оцінюють за: ступенем початкової забрудненості  $\delta_n$ , залишковою забрудненістю після миття  $\delta_z$

Незалежно від початкового рівня забруднення, конструкція нової мийної машини повинна забезпечувати досягнення зоотехнічно допустимої залишкової забрудненості  $\delta_z$ .

### 1.2.2 Машини для миття коренебульбоплодів

Машини для миття коренебульбоплодів розміщуються в спеціально облаштованих приміщеннях кормоцехів або на відкритих майданчиках, де проводиться підготовка кормів, зокрема комбісилосу. Основною задачею таких машин є очищення коренебульбових від ґрунту, домішок і частково від механічних пошкоджень та їх подальша підготовка до подрібнення й згодовування тваринам.

За типом технологічного процесу коренебульбомийні машини поділяють на:

- машини для сухої очистки
- машини для рідинної (водяної) очистки

Суха очистка застосовується переважно в полі, під час збирання врожаю, а також у невеликому обсязі - в кормоцехах. Її перевага полягає у тому, що ґрунт, який видаляється з коренебульб, повертається назад на поле, тим самим не потребує видалення з кормових приміщень. Проте такий метод значною мірою обмежений через значне виділення пилу, що погіршує умови праці оператора та призводить до інтенсивного зношування робочих органів машин.

У сучасних кормоцехах найбільшого поширення набули машини рідинної очистки, де видалення домішок відбувається водою. За конструкцією робочих органів рідинні коренемийки поділяють на: дискові, шнекові, кулачкові, барабанні.

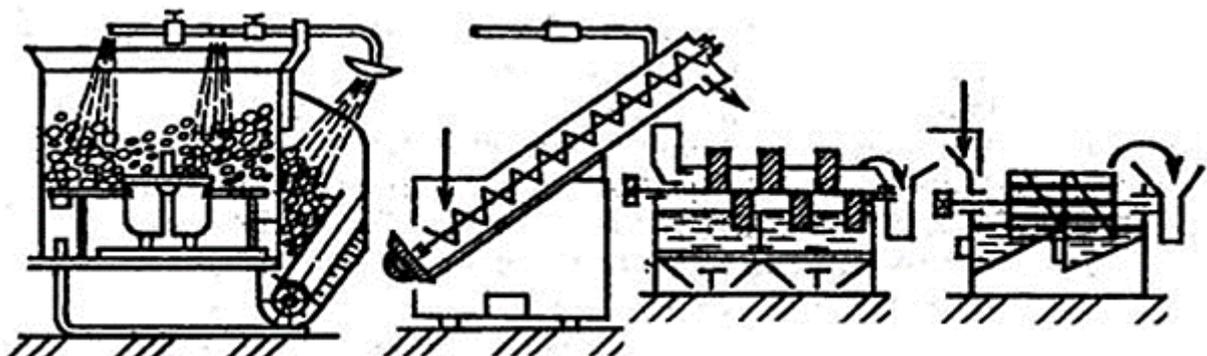


Рисунок 1.1 – Схеми типових мийок

Дискового типу машини (рисунок 1.2) є універсальними агрегатами безперервної дії, які одночасно:

- миють коренебульбоплоди
- подрібнюють їх до заданих розмірів
- транспортують продукт на наступну операцію

Це значно зменшує кількість обладнання у лінії та трудові витрати.

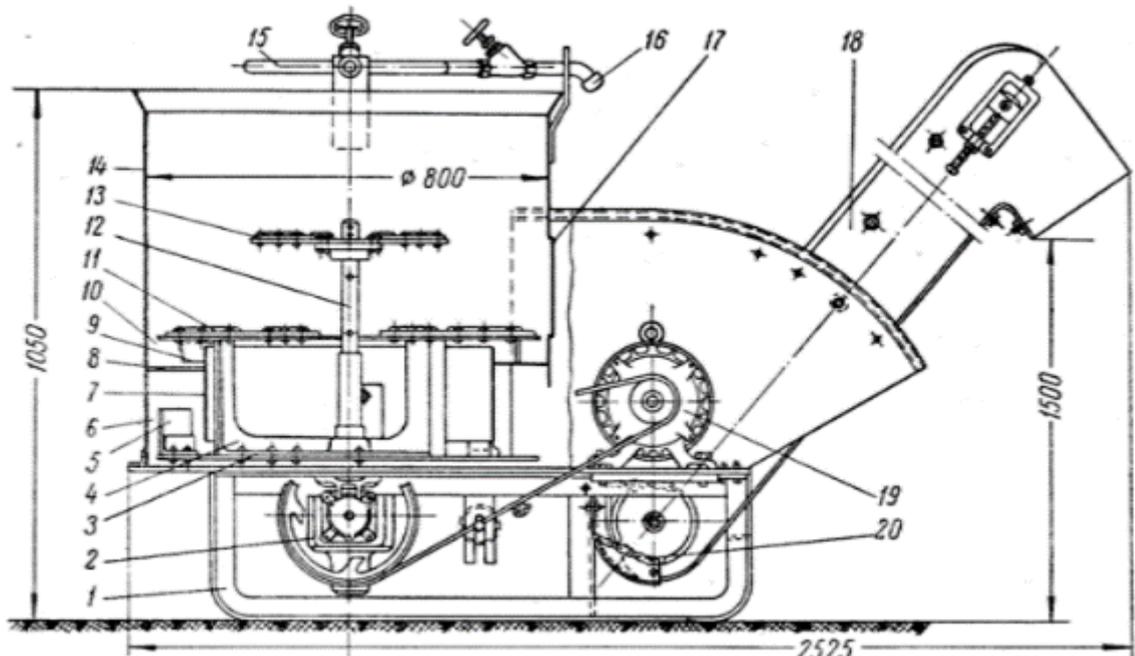


Рисунок 1.2 – Схеми дискової мийки

Основним несучим елементом є рама (1), на якій змонтовано робочий циліндр (14) із листової сталі. У нижній частині корпусу встановлено додаткове кільцеве днище (8) з внутрішнім перфорованим циліндром (7), біля вирізів якого закріплено неподвижні ножі для подрібнення коренебульб.

Всередині циліндра розташований вертикальний приводний вал (12) із жорстко встановленим трилопатеvim крильчатим органом (4), що несе два мочні диски (11, 13) і нижній виштовхувальний диск (3) з лопаттю (5). Верхній мочний диск 13 - регульований по висоті, нижній - перфорований для відведення брудної води.

Мийна вода подається зверху через кільцевий трубопровід (15) зі спеціальними форсунками.

Привод здійснюється від електродвигуна (19) через клинопасову передачу і конічні шестерні, що забезпечують частоту обертання робочих органів на рівні  $147 \text{ хв}^{-1}$ , яка оптимальна для поєднання процесів промивання та подрібнення.

Для відведення готового продукту передбачено ланцюгово-скребковий транспортер (18) та випускний люк із засувкою (17).

Шнекові коренебульбомийки набули широкого застосування в кормоцехах тваринницьких комплексів. Вони призначені для:

- видалення каменів та інших твердих домішок
- миття коренебульбоплодів у водному середовищі
- подрібнення очищеної сировини до заданих розмірів

Обладнання встановлюється як в потокових технологічних лініях, так і як самостійний агрегат при приготуванні кормів для ВРХ та свиней. Типовим представником цієї групи є камневідокремлювач-коренемийка-подрібнювач ІКМ-Ф-10 (рисунок 1.3).

Машина має три основні робочі органи: мийний шнек, подрібнювальний апарат та транспортер для видалення каміння.

Принцип роботи. Ванна 12 заповнюється водою до певного рівня, який підтримується зливним патрубком, розташованим на кожусі вивантажувального транспортера. Коренебульбоплоди надходять у мийну ванну, де очищаються від ґрунту завдяки вихровим потокам води, створюваним крильчаткою 12. Каміні та інші сторонні домішки відділяються і через отвір транспортера 2 виводяться назовні. Далі коренебульбоплоди потрапляють на шнек 11, де повторно промиваються зустрічним потоком води, після чого по направляючому корпусу 8 подаються в подрібнювач 9.

Розрахунок продуктивності. Продуктивність шнекової мийки визначають за методикою, згідно з якою для машин безперервної дії загальний час

перебування коренебульбоплодів у воді повинен становити 60–120 с. Цей час складається з двох частин:

часу відмочування у завантажувальній ванні - 60–90 с;

часу миття у жолобі шнека - 30–40 с.

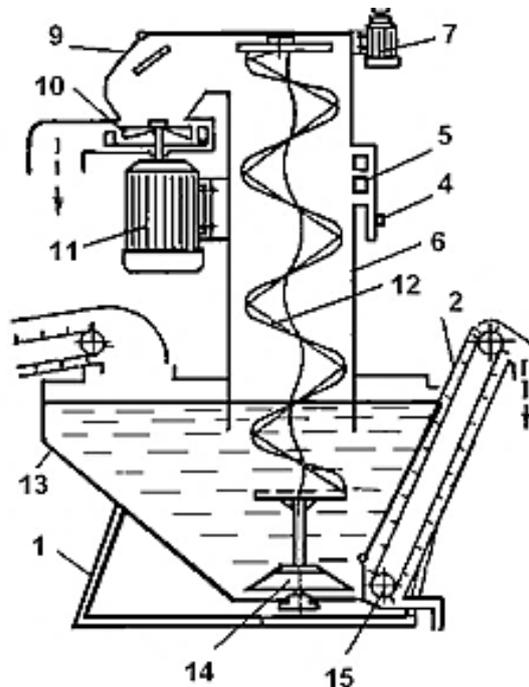


Рисунок 1.3 - Схема технологічного процесу камневідділювача ІКМ-Ф-10: 1 – рама; 2 – транспортер; 3, 6 і 10 – електродвигуни; 4 – колектор подавання води; 5 – кожух; 7 – викидач; 8 – корпус подрібнювача; 9 – подрібнювальний апарат; 11 – шнек; 12 – мийна ванна; 13 – крильчатка; 14 – люк.

Кулачкові коренебульбомийки (рисунок 1.4) - це стаціонарні установки, що складаються з однієї або двох ванн, розділених перегородками 1 [21].

Дно ванн виконане під нахилом, що забезпечує стік брудної води та осідання механічних домішок у камневловлювач 2. Вимиті коренеплоди видаляються ковшовим транспортером 3, а їхнє переміщення з однієї секції у іншу здійснюється за допомогою черпаків 4. Забруднення та осад періодично видаляються з камневловлювача через засувку 5 і люк 6.

У нижній частині кожної ванни встановлюється решітка, що утворює корито, а над ваннами у підшипниках закріплено вал з кулачками або штифтами.

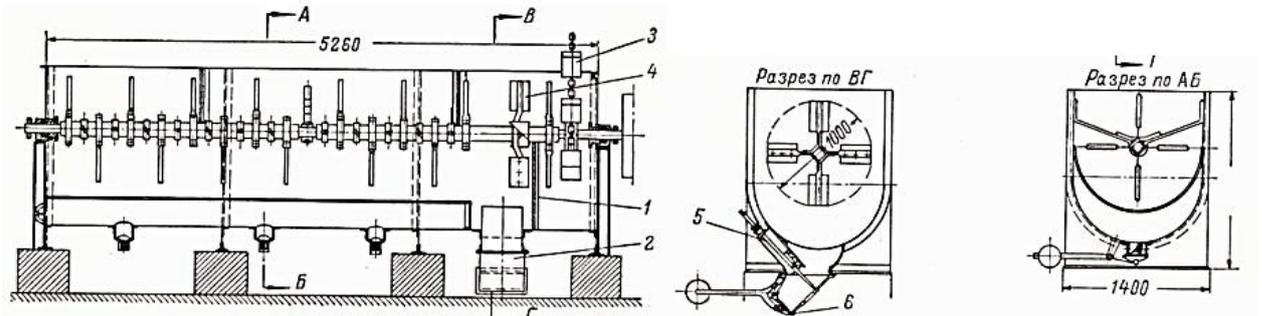


Рисунок 1.4 – Схема кулачкової коренебульбомийки з металеву односекційною ванною та камневловлювачем: 1 – перегородка; 2 – камневловлювач; 3 – ковшовий транспортер; 4 – черпаки для вивантаження; 5 – засувка; 6 – люк для вивантаження каміння.

Принцип роботи. Коренебульбоплоди безперервним потоком подаються у ванну, наповнену водою. Під дією обертючих кулачків вони зазнають інтенсивного механічного впливу, труться між собою, об решітку та кулачки, при цьому відмиваються водою та поступово переміщуються вздовж ванни. Досягнувши поперечної перегородки, вони захоплюються черпаками 4 і перекидаються у сусідню секцію, де процес миття повторюється.

Переміщення коренебульбоплодів уздовж ванн забезпечується розташуванням кулачків на валу по гвинтовій лінії або завдяки нахиленій робочій поверхні. Вода подається постійно зі сторони виходу очищеного продукту і поступово переливається у попередні ванни.

Бруд і відходи регулярно видаляються через спеціальні люки. Частота обертання кулачкового вала становить 20–25 об/хв, що забезпечує оптимальний режим мийки та перемішування коренебульбоплодів.

Барабанні коренебульбомийки знайшли найширше застосування серед машин для миття коренебульбоплодів. Вони відрізняються за конструкцією,

кількістю секцій (одно- або двокамерні), габаритними розмірами та продуктивністю.

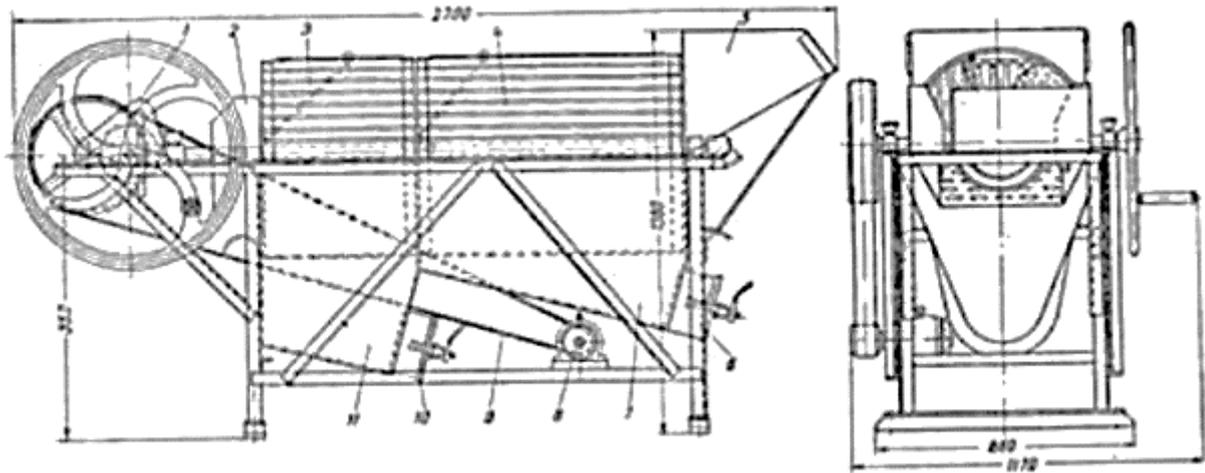


Рисунок 1.5 – Схема двокамерної барабанної коренебульбомийки: 1 – кожух передавального механізму; 2 – випускний лоток; 3, 4 – мийні барабани; 5 – завантажувальний лоток; 6, 10 – грязьові люки; 7, 11 – корита для води; 8 – електродвигун; 9 – приводний ремінь.

Конструктивно машина складається зі зварної рами з куточків, двох металевих корит для води, завантажувального та випускного лотків, мийних барабанів і привідного механізму. Дно корит має нахил у бік завантажувального лотка, а в нижніх частинах торців встановлені люки для спуску брудної води.

Мийні барабани діаметром 600 мм і довжиною 900 та 500 мм зібрані з металевих планок перерізом 2×30 мм, закріплених на хрестовинах загального вала. Планки вигнуті у вигляді кутників, утворюючи рифлену внутрішню поверхню барабана, а між ними залишені щілини шириною 15 мм для стоку бруду та піску. Усередині кожного барабана розташований один черпак для підйому й вивантаження продукту.

Принцип роботи. Після заповнення корит чистою водою машина запускається, і через завантажувальний лоток 5 безперервно подається сировина.

Кількість завантажених коренебульбоплодів розраховується так, щоб шар продукту в барабані не перевищував  $1/3$  його діаметра. Під час обертання барабана з частотою 16–20 об/хв бульби піднімаються силами тертя, перемішуються та труться між собою і планками, відмиваючись від бруду. Забруднення проходять крізь щілини на дно корита. Після першого барабана продукт потрапляє до другого, де процес повторюється, а очищені коренеплоди вивантажуються черпаками у випускний лоток 2.

Зібрана на дні брудна вода з відходами зливається через люки 6 і 10 у каналізацію, після чого корита знову наповнюються чистою водою. Частота зливу визначається ступенем забрудненості продукту.

Недоліки:

- значне пошкодження коренебульбоплодів об металеві планки
- низький коефіцієнт завантаження барабана;
- високий витрата води.

Однокамерна барабанна коренебульбомийка типу МП-2

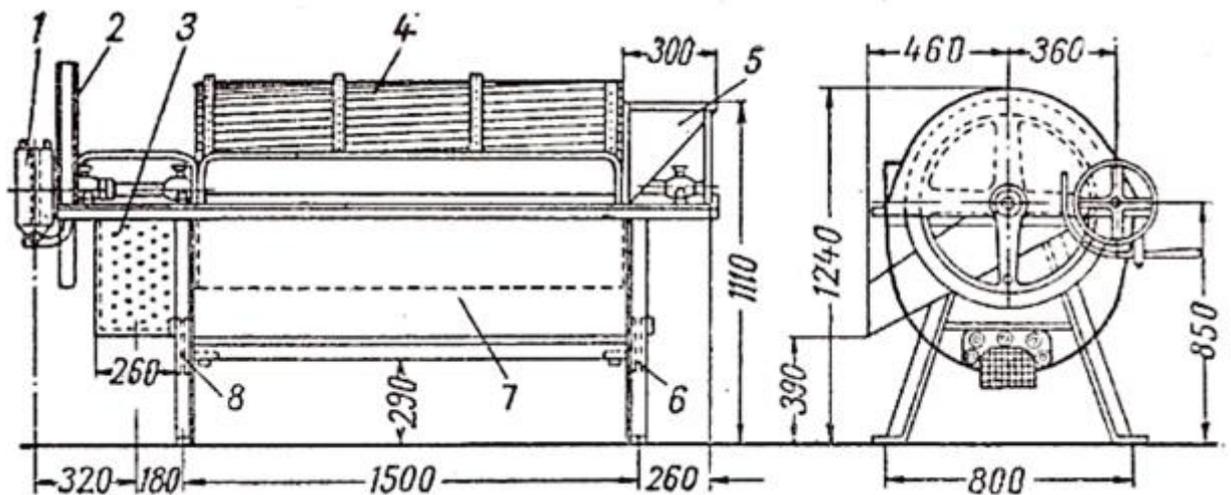


Рисунок 1.6 – Схема барабанної мийки безперервної дії: 1 – робочий і холостий шків; 2 – передавальний механізм; 3 – випускний лоток; 4 – мийний барабан; 5 – завантажувальний лоток; 6, 8 – грязьові люки; 7 – корито для води.

Машина має один мийний барабан діаметром 670 мм і довжиною 1400 мм. Його робоча поверхня складається з дерев'яних планок, розміщених під кутом  $7^\circ$  до твірної циліндра, що забезпечує поступове просування продукту вздовж барабана. У середині встановлені чотири дерев'яні лопаті з можливістю зміни кута нахилу, завдяки чому регулюється швидкість руху коренебульбоплодів та тривалість їх миття. Корито виконане у формі напівциліндра із закритими торцями, обладнане люками для спуску брудної води.

Барабанна коренебульбомийка типу ПБ-1500.

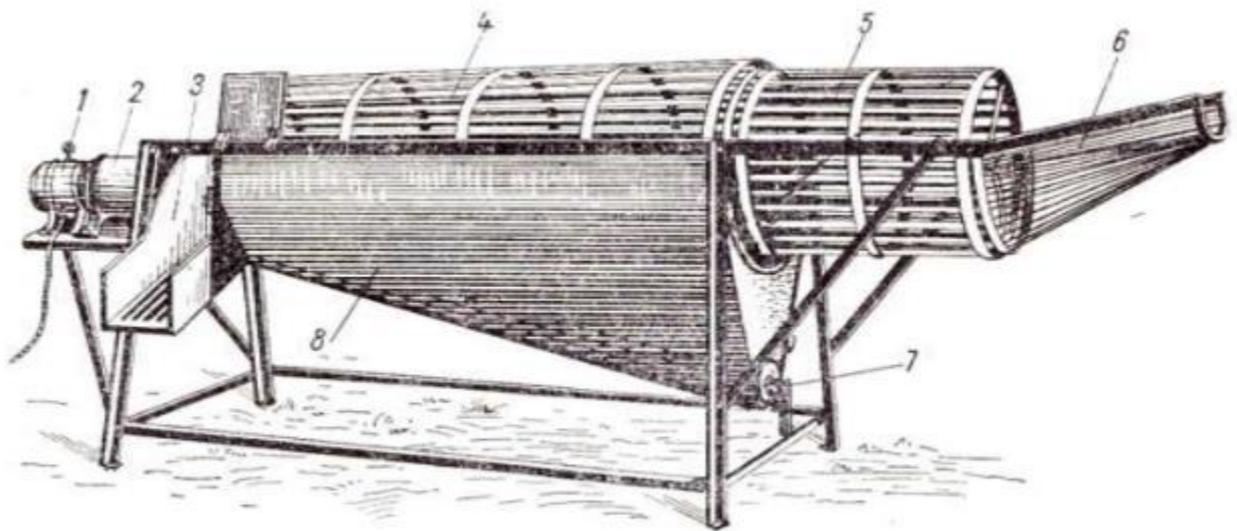


Рисунок 1.7 – Схема однокамерної коренебульбомийки з попередньою сухою очисткою: 1 – електродвигун; 2 – черв'ячний редуктор; 3 – випускний лоток; 5 – барабан для сухої очистки; 6 – завантажувальний лоток із металевих прутів; 7 – грязьовий люк; 8 – корито для води.

Машина має два барабани, закріплені на спільному валу:

- перший (довжина 600 мм, діаметр 475 мм) - для сухої очистки,
- другий (діаметр 550 мм) - мийний, розташований над коритом з водою.

Під час сухої очистки у першому барабані видаляється до 40–50 % забруднень, які просіваються під машину. Така попередня обробка зменшує витрату води, покращує якість миття та спрощує очищення відстійників від бруду.

Під час роботи машини коренебульбоплоди під дією сил тертя об внутрішню поверхню барабана поступово піднімаються вгору до верхньої точки А (рисунок 1.8, а). Нижній шар бульб, рухаючись уздовж стінки барабана, захоплює за собою наступні шари - другий, третій тощо. Таким чином формується суцільний потік продукту, який у поперечному перерізі займає приблизно перший квадрант барабана. Основна маса коренебульбоплодів при цьому рухається навколо уявної горизонтальної осі, розташованої всередині шару продукту.

Після досягнення верхньої точки траєкторії бульби скочуються вниз до нижньої точки В, занурюючись у воду, де відбувається відмивання ґрунту. Такий кінематичний процес - чергування підйому, падіння та перемішування у воді й повітрі - забезпечує ефективне очищення поверхні коренебульбоплодів.

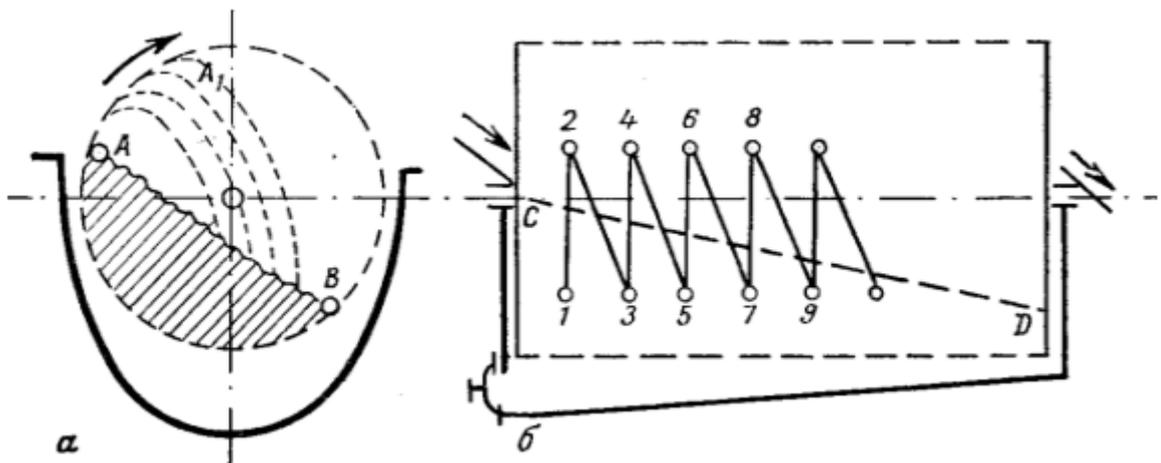


Рисунок 1.8 – Схема переміщення продукту всередині барабана: а – траєкторія переміщення у поперечному перерізі барабана; б – траєкторія переміщення у поздовжньому перерізі барабана.

Для забезпечення якісного процесу миття при діаметрі барабана 0,55–0,70 м необхідно підтримувати окружну швидкість 0,8–1,1 м/с.

Збільшення швидкості обертання понад ці межі погіршує процес очищення:

- коренебульбоплоди піднімаються надмірно високо, виходять за рівень води,
- відриваються від стінки барабана та рухаються по параболічній траєкторії,
- контакт з водою та ворохом зменшується, що знижує інтенсивність миття.

При подальшому збільшенні швидкості дії центробіжних сил призводить до притискання коренебульбоплодів до стінок барабана, унаслідок чого вони починають обертатися разом із ним без відриву. Це різко знижує ефективність мийки.

Окружна швидкість понад 1,0–1,2 м/с є недопустимою, оскільки при цьому утворюються сильні розбризкувальні струмені води, що робить роботу машини неефективною.

Барабанно-лопатева коренебульбомийка (рисунок 1.9) є вдосконаленою конструкцією традиційних машин цього типу. Її барабан складається з по чергово розташованих нагнітальних і витяжних секцій [27]. У кожній секції по колу виконано отвори з лопатями, встановленими під кутом до поверхні барабана:

у нагнітальних секціях лопаті спрямовані проти напрямку обертання барабана,

у витяжних - у напрямку обертання.

Кут нахилу лопатей нагнітальних секцій може регулюватися, що дозволяє змінювати інтенсивність подачі води та руху продукту.

Принцип роботи. Коренебульбоплоди через завантажувальну воронку 7 потрапляють у барабан 1, який частково занурений у воду й обертається з критичною частотою. Під дією центробіжних сил і сил тертя бульби піднімаються

по стінці барабана вгору. Частина продукту, досягнувши певної висоти, починає скочуватися вниз під кутом природного укосу, стикаючись із нижніми шарами і знову занурюючись у воду.

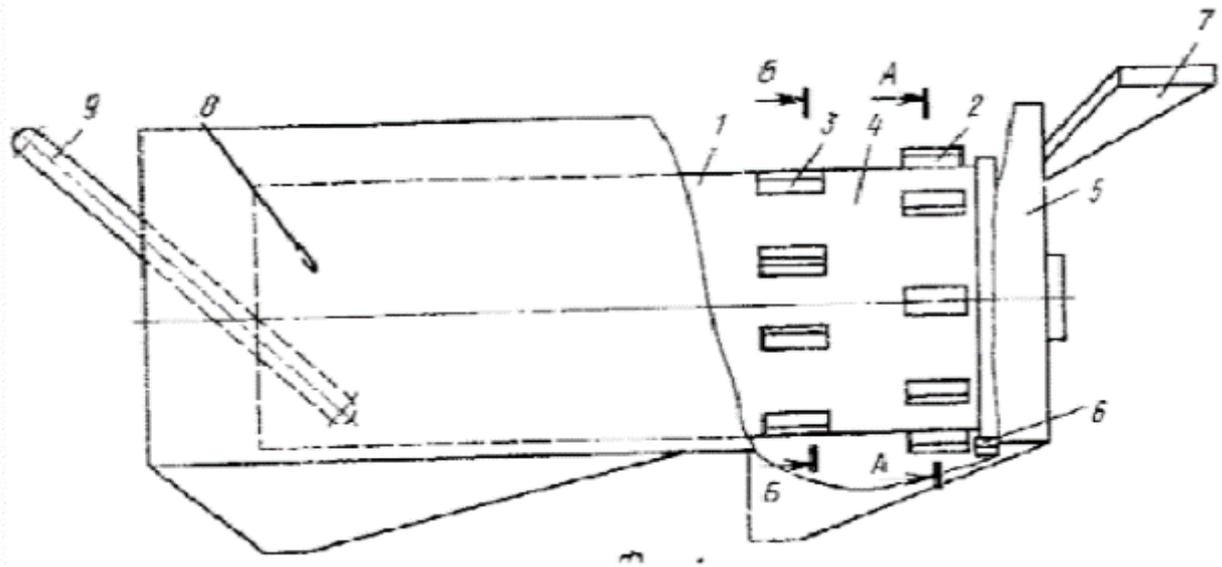


Рисунок 1.9 – Схема барабанно-лопатевої коренебульбомийки:

1 – барабан; 2 – нагнітальна секція; 3 – витяжна секція; 4 – проміжки між секціями; 5 – ємність із водою; 6 – ролики; 7 – завантажувальна воронка; 8 – скидач; 9 – механізм вивантаження.

Лопаті нагнітальних секцій (2) під час обертання захоплюють воду й протискають її крізь шар коренебульбоплодів від периферії до центру барабана, створюючи інтенсивне гідродинамічне промивання. За ними розташовані витяжні секції (3), через які вода разом із дрібними частинками бруду виходить назовні, рухаючись у зворотному напрямку - від центру до периферії.

Під дією потоку води й центробіжних сил коренебульбоплоди піднімаються вздовж стінки барабана, потім, дійшовши до скидача 8, відокремлюються від неї та падають по криволінійній траєкторії у воду. Такий рух забезпечує інтенсивне перетирання, перемішування та всебічне відмивання продукту від налиплого ґрунту.

Окрім поперечного руху, вода безперервно переміщується вздовж барабана - від зони завантаження (7) до зони вивантаження (9). Якість миття регулюється кількістю поданої води, а видалення забруднень здійснюється через грязьові люки, як і в інших барабанних мийках.

Переваги конструкції.

Покращене інтенсивне перемішування та гідравлічне промивання завдяки чергуванню нагнітальних і витяжних секцій.

Можливість регулювання кута нахилу лопатей, що дозволяє адаптувати роботу до ступеня забруднення сировини.

Ефективне видалення брудної води з частинками землі без додаткових насосів.

Підвищена якість миття завдяки поєднанню механічного й гідродинамічного впливів.

Недоліки.

Основним недоліком є значна кількість води, що виноситься разом із вимитими коренебульбоплодами, через що виникають додаткові втрати та потреба в системі зворотного водопостачання.

Порівняльний аналіз різних типів мийок показує, що кожна з них має свої переваги й обмеження. Найбільш ефективними вважаються машини з горизонтально розташованим обертовим барабаном, частково зануреним у воду, оскільки вони забезпечують перекочування, переорієнтацію та часткову “невагомість” бульб у рідкому середовищі. Це сприяє інтенсивному очищенню за рахунок тертя між коренебульбоплодами, стінками барабана та водяним потоком.

Технологічний процес складається з таких основних операцій:

переміщення коренебульбоплодів уздовж барабана;

власне очищення (механічне й гідродинамічне);

вивантаження продукту;

видалення брудної води.

Найповніше цим вимогам відповідають барабанно-лопатеві мийки з черговими нагнітальними та витяжними секціями, які забезпечують оптимальне поєднання якості очищення, мінімальної пошкоджуваності та стабільної роботи при безперервному русі продукту.

У вітчизняній та зарубіжній практиці барабанні коренебульбомийки мають різні конструктивні виконання, оскільки вони поєднують кілька технологічних функцій - відокремлення механічних домішок, миття, полірування поверхні овочів, фруктів і харчових коренеплодів. До таких машин належать коренебульбоовочемийки безперервної дії (рис. 1.10), які не потребують проміжних резервуарів і легко піддаються автоматизації технологічного процесу.



Рисунок 1.10 – Коренебульбоовочемийка безперервної дії

Водночас ці установки є досить складними за конструкцією через наявність великої кількості щіткових механізмів, що оточують внутрішню поверхню барабана, а також форсунок для розпилення води. Це робить їх енергоємними та призводить до значних витрат води під час роботи.

Комбіновані коренебульбомийки. Машини цього типу поєднують сухе та рідинне очищення коренебульбоплодів (рис. 1.11).

Такі установки оснащені додатковим пристроєм, який виконує функцію відділення каменів і твердих домішок. Для їх ефективної експлуатації потрібні значні виробничі площі та спеціальні умови мікроклімату в робочій зоні, що ускладнює їх використання в невеликих господарствах.



Рисунок 1.11 – Мийна машина барабанного типу з каменевідбірником

Мийки для коренеплодів і овочів харчової промисловості. Ці машини (рис. 1.12) мають вигляд закритої ванни, знизу якої розташовані обертові щітки, що працюють у потоці розпилених водяних струменів.

Таке конструктивне рішення забезпечує високу якість очищення продукту та мінімальне його пошкодження. Проте до недоліків відносять значні розміри машин, складність конструкції та високе енергоспоживання.

Щітково-барабанні мийки. Машини цього типу виробляються, зокрема, в ІП «Кагуй» і призначені як для сухого, так і для вологого очищення (рис. 1.13).



Рисунок 1.12 – Машина для миття коренеплодів, овочів і фруктів



Рисунок 1.13 – Комбінована щітково-барабанна мийка

Робочим органом є рифлений барабан з обертовими щітками, який частково занурений у водяний потік. У середині барабана розміщено душувальний пристрій, що подає воду під тиском. Забруднення й домішки проходять крізь отвори барабана і накопичуються у конічній ванні, звідки відводяться через спеціальний люк у каналізацію.

Такі машини забезпечують комбінований вплив - механічний (щітковий) і гідравлічний, що сприяє якісному очищенню навіть при сильному забрудненні сировини.

Переваги.

Висока ефективність очищення за рахунок одночасного механічного та гідравлічного впливу.

Можливість роботи в обох режимах - сухому та рідинному.

Використання міцних і корозійностійких матеріалів.

Недоліки.

Висока вартість і габарити.

Значне енергоспоживання та складність технічного обслуговування.

Отже, універсальні, комбіновані та щітково-барабанні мийні машини забезпечують високу якість очищення і можуть виконувати кілька технологічних операцій одночасно. Водночас їхнє застосування обмежене через високу енергоємність, складність конструкції та великі водні витрати, що робить їх більш придатними для промислових підприємств, ніж для невеликих фермерських господарств.

Мийно-струшувальна машина (рисунок 1.14) призначена для миття овочів і плодів, а також для їх охолодження після термічної обробки. Конструктивно вона складається з каркаса, душового колектора, ванни та приводу.

Каркас має чотири вертикальні стійки з опорними плитами, до яких на шарнірних підвісках під кутом близько  $5^\circ$  до горизонту закріплено сито, що здійснює зворотно-поступальний рух, переданий від колінчастого вала.

Над ситом розташовано бункер із шибером, який дозволяє регулювати кількість поданого продукту. Вище встановлено душувальний колектор із соплами для розпилення води, а під ситом - ванну з отвором для зливу відпрацьованої води.

Під час роботи овочі або плоди під дією коливальних рухів сита переміщуються вздовж нього, одночасно омиваючись водяними струменями. Такий

процес забезпечує досить ефективне очищення, однак супроводжується підвищеним травмуванням продукту.

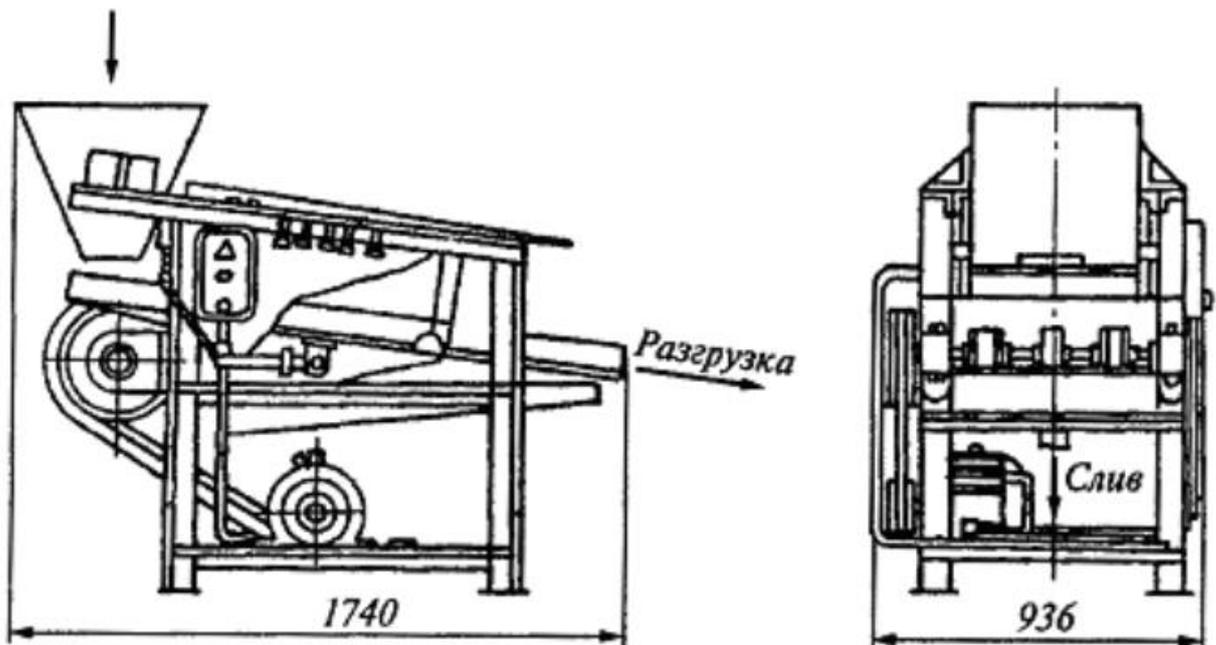


Рисунок 1.14 – Схема мийно-струшувальної машини

Різновидом цієї установки є клавішна мийна машина, у якій рух поверхні здійснюється системою клавіш, що послідовно піднімають і опускають продукт. Проте цей тип відзначається ще більшою пошкоджуваністю коренебульбоплодів і підвищеною енергоємністю процесу порівняно з іншими видами мийок.

З метою визначення напрямів удосконалення технологічних і конструктивно-режимних параметрів коренебульбомийних машин розроблено їх класифікацію, що дозволяє систематизувати існуючі типи машин і вибрати найбільш ефективні для конкретних умов виробництва.

## 1.2 Класифікація способів і технічних засобів миття та очищення коренебульбоплодів

Усі машини, призначені для миття та очищення коренебульбоплодів, овочевих і баштанних культур, що застосовуються на тваринницьких фермах,

у цукровій, харчовій та інших галузях промисловості, поділяють за кількома основними ознаками:

способом очищення, принципом дії, режимом роботи, видом руху та конструкцією робочого органа, способом переміщення продукту в робочій камері, характером впливу на сировину, розташуванням пристроїв для видалення механічних домішок, конструкцією та розміщенням пристроїв вивантаження, способом відведення брудної води та якістю кінцевого продукту.

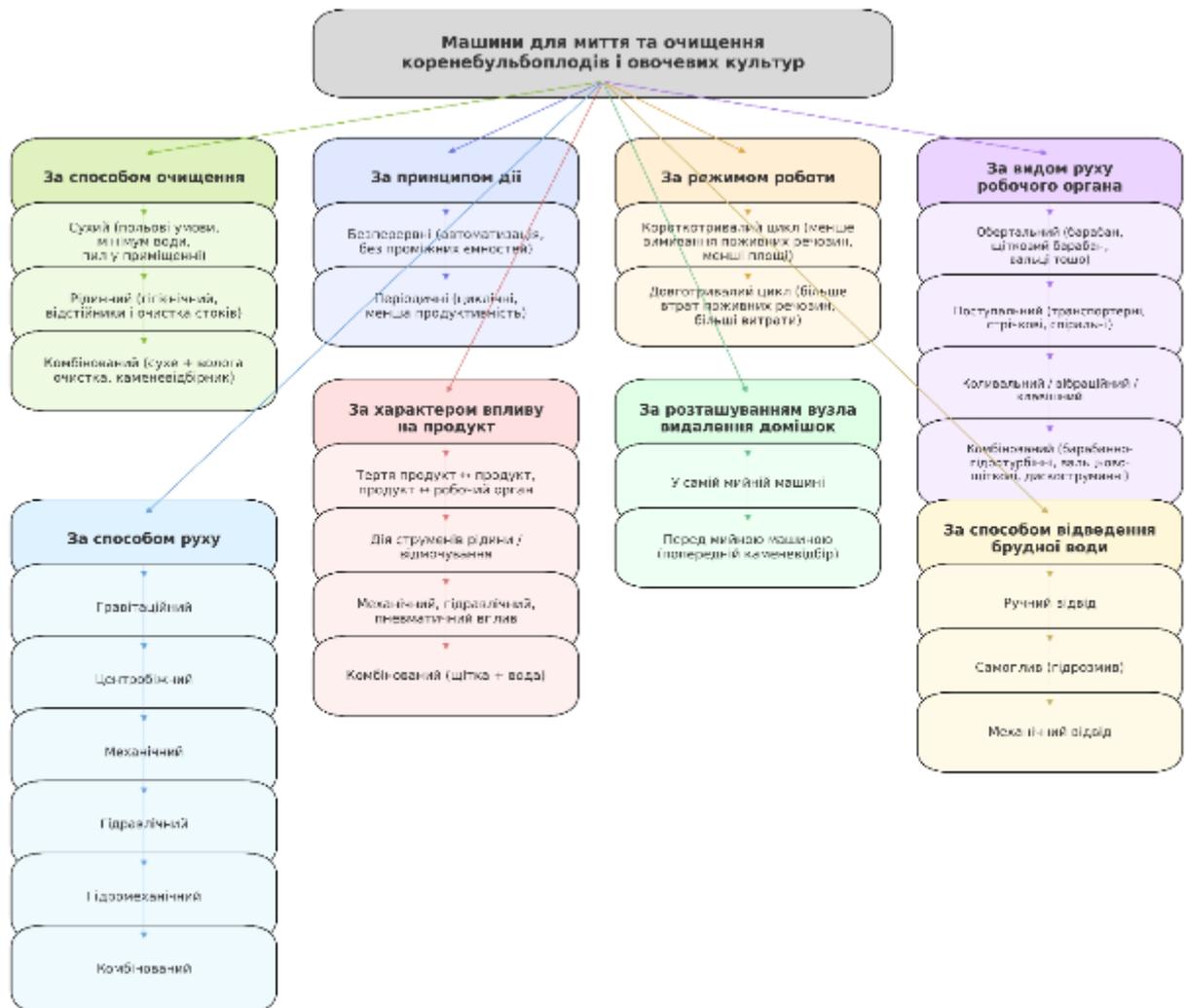


Рисунок 1.15 - Класифікація технічних засобів миття та очищення коренеплодів

**За способом очищення:**

**Сухий.** Застосовується переважно в польових умовах, оскільки не потребує води та запобігає втраті родючого шару ґрунту. У стаціонарних умовах має недолік - значне пиловиділення та потребу в складних системах аспірації.

**Рідинний.** Забезпечує кращу гігієнічність, але вимагає великих відстійників і значних витрат на очищення стічних вод.

**Комбінований.** Поєднує переваги обох способів (рис. 1.11) - ефективно очищення при помірному споживанні ресурсів. Такі машини мають складну конструкцію та потребують спеціальних пристроїв для відведення твердих домішок.

#### **За принципом дії:**

**Безперервні** (рис. 1.10) - найбільш досконалі, оскільки не потребують проміжних ємностей і легко автоматизуються.

**Періодичні** - працюють циклічно, мають нижчу продуктивність і складніший процес завантаження та вивантаження.

#### **За режимом роботи:**

**Короткотривалий** - забезпечує мінімальні втрати поживних речовин і не потребує великих виробничих площ.

**Довготривалий** - характеризується більшими енергетичними витратами та ймовірністю вимивання корисних компонентів із продукту.

#### **За видом руху робочого органа:**

обертальний;

поступальний;

коливальний;

вібраційний (встряхувальний);

комбінований.

Найбільшого поширення набули машини з обертальними робочими органами, але їхніми недоліками є низький коефіцієнт використання об'єму та мала частота обертання, що обмежує продуктивність. Тому доцільним вважається використання комбінованих робочих органів.

**За конструкцією робочого органа, що активізує рух продукту:** барабанні, лоткові, змієподібні, решітчасті, шнекові, дискові, вальцьові, щіткові, лопатеві, клавішні, рідинні.

Барабанний робочий орган є найуніверсальнішим - він придатний для миття різних культур (коренебульбових, овочевих, плодово-баштанних). Інші типи, наприклад вальцьові (рис. 1.12), мають вузьку спеціалізацію й застосовуються переважно в харчовій промисловості.

Робочі органи з поступальним рухом (транспортні, ланцюгові, стрічкові, спіральні) рідко використовуються через високу травматичність продукту.

Робочі органи з коливальним рухом (вібраційні, грохотні, клавішні) характеризуються підвищеним рівнем пошкоджень і нерівномірним переміщенням продукту.

Комбіновані системи (барабанно-гідротурбінні, вальцьово-щіткові, дискострумінні тощо) поєднують різні види впливу для підвищення якості очищення.

**За способом переміщення продукту в робочій камері:**

гравітаційний,  
центробіжний,  
механічний,  
гідравлічний,  
гідромеханічний,  
комбінований.

На практиці ці методи здебільшого поєднуються.

**За видом впливу робочого органа на продукт:**

тертя продукту об продукт,  
тертя продукту об поверхню робочого органа,  
дія струменів рідини,  
відмочування,  
гідравлічне,

механічне,  
 пневматичне,  
 комбіноване (рис. 1.13).

Комбіновані мийки застосовуються для картоплі, буряків, ріпи, фруктів, овочів і баштанних культур. Продукти очищуються за рахунок тертя між собою та з поверхнею щіток, омиваються водяними струменями, а далі подаються на наступні технологічні операції. Основними недоліками є висока вартість, складність конструкції та значні витрати води.

**За розташуванням пристроїв для видалення механічних домішок:**  
 у самій мийній машині;  
 перед нею.

Пристрої, розташовані перед мийкою, ефективніше відокремлюють каміння та тверді домішки.

За конструкцією пристроїв вивантаження продукту:  
 плужкові,  
 ковшові,  
 кареткові,  
 комбіновані.

Для універсальних машин рекомендується комбінована система вивантаження. Матеріали виготовлення: сталь, дерево, капрон, пластмаса, силікон, гума. Найперспективнішими вважаються полімерні матеріали, стійкі до вологи й агресивних середовищ.

Розташування в просторі може бути вертикальним, горизонтальним, похилим або комбінованим.

Відведення брудної води здійснюється вручну, самопливом або механічно (гідрозмив).

Якість кінцевого продукту визначається такими показниками:  
 залишкове забруднення - не більше 2–3 %;  
 механічне пошкодження - не більше 3 %;  
 втрата поживних речовин - не більше 3 % .

Найперспективнішим напрямом розвитку є створення барабанно-гідротурбінних коренебульбомийок, які поєднують високу продуктивність і економічність.

У сучасних машинах основою технологічного процесу є пасивне відділення забруднень при тривалому впливі рідини (3–6 хв).

Динаміка рідини у частково заповненому горизонтальному барабані вивчена недостатньо, що потребує подальших досліджень.

Для зменшення пошкоджень і енергоспоживання рекомендується застосування винтоконусних скидачів продукту, що дозволяють збільшити частоту обертання барабана.

Використання нових гідротурбінних машин дасть змогу підвищити продуктивність і зменшити габаритні розміри обладнання.

З урахуванням зоотехнічних вимог до якості миття, продуктивності та енергоємності найефективнішою вважається барабанна коренебульбомийка, яка забезпечує оптимальне співвідношення якості очищення, енерговитрат і надійності роботи.

### **1.3 Висновки по розділу**

Проаналізовано конструкції та принципи дії наявних коренебульбомийок (шнекові, кулачкові, барабанні, барабанно-лопатеві, щітково-барабанні, універсальні, комбіновані, моєчно-встряхувальні). Кожен клас машин має власну «нішу» застосування та обмеження за якістю миття, водо- та енергоємністю, пошкоджуваністю продукції й габаритами.

Найбільш універсальним робочим органом є барабан з горизонтальною віссю, занурений у воду: він забезпечує перекочування коренеплодів, їх взаємне тертя та багаторазове занурення/вспливання, що підвищує інтенсивність відмивання ґрунтових домішок.

Для барабанних мийок визначено ключові режимні параметри: сумарний час водної обробки 60–120 с (60–90 с – відмочування, 30–40 с – активна мийка), раціональна колова швидкість 0,8–1,1 м/с (перевищення 1,2 м/с викликає розбризкування та погіршення миття), заповнення барабана – не більше  $\sim 1/3$  діаметра шаром продукту.

Класичні барабанні установки мають недоліки: значні втрати води, підвищену пошкоджуваність об продукто-контактні ребра, невисокий коефіцієнт заповнення об'єму, періодичні застої мулу та піску, складність відведення брудної води.

Щітково-барабанні та універсальні машини забезпечують високу товарну чистоту, але відзначаються великою конструктивною складністю, підвищеною енергоємністю та високими експлуатаційними витратами (вода, обслуговування форсунок/щіток).

Комбіновані рішення (суха попередня очистка + мийка у воді, каменевідбір) знижують витрати води й навантаження на відстійники, однак потребують додаткового місця та вузлів видалення домішок. Розміщення каменевідбірника до мийної машини є технологічно виправданим.

Перспективним напрямом удосконалення визначено барабанні гідротурбінні та барабанно-лопатеві схеми з чергуванням нагнетальних/витяжних секцій: сформовані водяні струмені покращують переорієнтацію коренеплодів у просторі, обладнують м'яке відділення від стінки, прискорюють винос дрібних частинок бруду.

Критичними для якості є гідродинаміка усередині частково заповненого барабана, геометрія перфорацій і лопаток (кут, висота, крок), схема розподілу потоку та організація вивантаження (сбрасувателі/винтоконуси, що мінімізують травмування).

Зоотехнічні вимоги (залишкова забрудненість  $\leq 2-3$  %, пошкодження  $\leq 3$

%, втрати поживних речовин  $\leq 3$  %) можуть бути досягнуті за рахунок раціонального поєднання гідродинамічної дії струменів із контрольованим тертям «продукт-продукт» та «продукт-поверхня», за умов оптимальних режимів.

Екологічні та економічні обмеження (дефіцит/утилізація води, вартість енергії, площі) вимагають переходу до схем із повторним використанням води, локальними відстійниками/гідросмувом та зниженням металоємності.

Узагальнення літературних і виробничих даних показало, що найбільший потенціал підвищення якості миття при одночасному зменшенні пошкоджуваності, водо- та енергоємності мають барабанні мийки з керованою внутрішньою гідродинамікою (нагнетальні/витяжні секції, оптимізовані лопатки, раціональний відвід брудної води та м'яке вивантаження). Отже, доцільно спрямувати подальшу роботу на конструкторсько-режимне удосконалення барабанної машини й експериментальне підтвердження ефекту.

Мета дослідження

Розробити та обґрунтувати конструктивно-режимні параметри удосконаленої барабанної коренебульбомийки енергоємності процесу при досягненні вимог до якості миття й мінімізації пошкоджуваності коренеплодів.

Завдання дослідження.

1. Аналітичне обґрунтування. Провести поглиблений аналіз існуючих конструкцій барабанних мийок, визначити критичні фактори якості миття, травмування і витрат ресурсів; сформулювати технічні вимоги до удосконаленої конструкції.

2. Математичне моделювання гідродинаміки. Розробити модель руху коренеплодів та потоку в частково заповненому обертовому барабані з перфораціями/лопатками; визначити вплив колової швидкості ( $\approx 0,8-1,1$  м/с), кута/висоти лопаток, кроку секцій і витрати води на інтенсивність відмивання та переорієнтацію коренеплодів.

3. Експериментальні дослідження. Провести лабораторні/напівпромислові випробування за планом експерименту (факторіальний або відгук-поверхня), виміряти: залишкову забрудненість (%), пошкодженість (%), втрати маси/поживних речовин, витрати води ( $\text{м}^3/\text{т}$ ) та енергії ( $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{т}$ ).

4. Порівняльна оцінка. Порівняти результати з базовою серійною барабанною мийкою; визначити приріст якості, зниження водо- та енерговитрат, зміну продуктивності.

5. Економічне обґрунтування. Розрахувати собівартість експлуатації, строк окупності та екологічний ефект (зменшення стоків/мулу).

6. Висновки та рекомендації. Сформувати практичні рекомендації з доведення конструкції до дослідного зразка і впровадження на фермах/у переробці з урахуванням локальних обмежень по воді та вимог до якості.

## 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БАРАБАННОЇ МИЙКИ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ

### 2.1 Обґрунтування критеріїв ефективного використання енергетичних потоків

Ефективність підготовки коренебульбоплодів (миття/очистка) визначається сукупною дією таких чинників: вид сировини (кормовий/цукровий буряк, морква, картопля, топінамбур), тип і природа забрудників (механічні, ґрунтові), зовнішні кліматичні умови (температура, вологість), коефіцієнти тертя й зсуву у водному середовищі, питомі витрати енергії та води, матеріаломісткість, питомі експлуатаційні витрати, а також вартість самої машини.

Щоб узгоджено оцінювати вплив цих багатокритеріальних чинників, доцільно розглядати підготовку як протікання матеріально-енергетичних потоків у поточних технологічних лініях (ПТЛ) підготовки коренебульбоплодів. До керувальних і збурювальних впливів належать, зокрема: вологість забрудників  $w$ , температура середовища  $t$ , коефіцієнт тертя коренеплодів об конструкційні матеріали  $\varphi_1$ , коефіцієнт опору зсуву у воді  $\varphi_2$ , втрати вихідної маси  $\Delta m$  тощо.

Оскільки ПТЛ є перетворювачем матеріальних, енергетичних, інформаційних та інших потоків, її зручно представити як багатокритеріальний об'єкт керування.

На вході діє вектор керуючих/вхідних змінних  $X_0 = \{X_{01} \dots X_{0i}\}$ : витрата забруднених коренебульбоплодів, частка не пов'язаних механічних домішок, подача чистої води, енергетичні витрати приводів подачі, попередньо вилучені домішки тощо. Зовнішні збурення описує вектор  $F_b = \{F_{b1} \dots F_{bi}\}$ : нерівномірність відбору готового продукту (залежно від графіка годівлі стада), коливання

фізіологічного стану тварин, перерви на видалення осаду, недостатність контролю забрудненості води у ванні тощо. Стан/вихід системи - вектор  $Y = \{Y_1 \dots Y_i\}$ , що характеризує результат за цільовими показниками: продуктивність за готовим продуктом (з урахуванням маси вилучених забрудників і втрат), залишкова забрудненість, питомі витрати води та енергії.

Розмірності компонент  $X_0, F_v, YX_0, F_v, Y$  різні (кг/с, кВт·год, люд.-год, м<sup>3</sup>/год т. ін.), тому в оперативному керуванні враховується лише найбільш інформативна підмножина; решту доцільно розглядати як випадкові процеси.

Вимоги до результату та масовий баланс

Під фактичні потреби ферми вихід мийної машини слід оцінювати не лише «чистою масою за одиницю часу», а з урахуванням: (а) маси вилучених забрудників, (б) маси пошкоджених/втрачених часток коренеплодів. Запит споживача можна подати як сумарну потрібну масу чистих коренебульбоплодів:

$$M_{\{\text{потр}\}} = \sum N_j q_j \quad (2.1)$$

де  $N_j$  - поголів'я  $j$ -ї статево-вікової групи,

$q_j$  - добова норма коренебульбоплодів на голову.

З огляду на допустиму залишкову забрудненість  $\delta_{\text{зал}}$  (зоотехнічна норма 2–3 %), машина має видати більшу бруutto-масу, щоб енергетична цінність раціону не знижувалася. Узагальнено:

$$M_{\{\text{видача}\}} \approx \{M_{\{\text{потр}\}}\} \{1 - \delta_{\{\text{зал}\}}\} \quad (2.2)$$

На вході ж надходить ворох із початковою забрудненістю до  $\delta_{\text{поч}} \approx 20\%$ , тому перероблювана маса більша за масу чистого виходу; додатково необхідно враховувати втрати вихідної маси  $\Delta m$  (сколи, обломки корінців, розчинені речовини), що, як правило, зростають із часом перебування  $t$  у воді барабана.

З огляду на різну природу ґрунтових домішок (напр., піщані на кормовому буряку легко обсипаються при зберіганні; суглинкові на цукровому - міцно зв'язуються і гірше змиваються), пропонується оцінювати мийну машину за розширеним набором критеріїв:

- маса вимитих коренебульбоплодів (чистий продукт),
- маса відмитих забрудників,
- втрати вихідної маси  $\Delta m$ ,
- питомі витрати енергії (кВт·год/т) і води ( $\text{м}^3/\text{т}$ ),
- виробничі об'єми/площі установки.

Тоді продуктивність  $Q$  (кг/с) у потрібному технологічному циклі тривалістю  $\tau$  (год) зручно визначати за чистим виходом із урахуванням відокремленого забрудника та втрат:

$$Q = \{M_{\{\text{чист}\}}\}\{\tau\} \quad (2.3)$$

Оскільки в моделі присутні потоки різної фізичної природи (сировина, вода, електроенергія, домішки, праця, матеріали), для аналітичної обробки доцільно використовувати еквівалентну енергетичну метрику (наприклад, у Джоулях), що спрощує порівняння альтернативних режимів і конструкцій.

Найбільший внесок у якість кінцевого продукту та ресурсоемність процесу має потік забрудників з урахуванням їхніх фізико-механічних властивостей у рідині. Для його адекватного вивчення потрібні спеціальні прилади/методи, здатні досліджувати:

- властивості коренебульбоплодів у водному середовищі,
- гідродинаміку руху рідини у горизонтальному обертовому барабані (включно з впливом геометрії перфорацій і лопаток, кутів, кроків секцій, витрати води, колової швидкості).

## 2.2 Теоретичне обґрунтування параметрів барабана коренебульбомийки

Продуктивність барабанної коренебульбомийки визначається кінематикою барабана і параметрами вивантаження. За усталеного процесу маса, що віддається в кожному оберті одним черпаком, разом із кількістю черпаків і частотою обертання формує годинний вихід. У погоджених одиницях ( $n$  - об/хв) одержуємо основне рівняння продуктивності:

$$Q = 60, n, m_{\{ч\}}, z \quad (2.4)$$

де  $n$  - частота обертання барабана,  $хв^{-1}$ ;

$m_{\{ч\}}$  - маса коренебульбоплодів, що вивантажується одним черпаком за один оберт, кг;

$z$  - кількість черпаків.

Граничний режим визначає критична частота обертання барабана  $n_{\{кр\}}$ , що відповідає умові рівності доцентрового прискорення і складової сили тяжіння, яка утримує ворох на стінці. Узагальнено:

$$n_{\{кр\}} = \{60\}\{2\pi\}, \sqrt{\{g\}\{R\}} \quad (2.5)$$

де  $R$  - радіус барабана, м;

$g$  - прискорення вільного падіння.

При  $n = n_{\{кр\}}$  має місце інтенсивне перекочування частинок по хорді (А–Б), що забезпечує ефективне перетирання й змивання (рис. 2.1).

Для інтенсифікації процесу за підвищених обертів доцільно скорочувати час перебування частинок у водній зоні та забезпечувати їх періодичну переорієнтацію за рахунок струменів, сформованих нагнітальними ковшами. Рекомендований коефіцієнт заповнення барабана  $\phi$  для серійних машин - 0,25–0,35; для експериментального барабана приймаємо  $\phi_e=1/2$ .

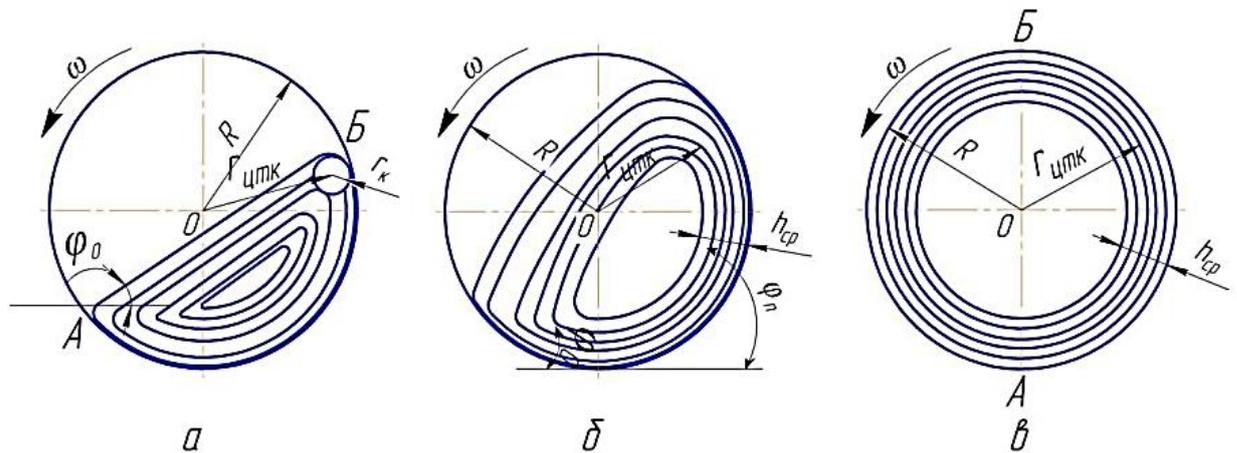


Рисунок 2.1 Схема руху коренебульбоплодів у барабані залежно від частоти обертання

- а) частота обертання  $n=0,45 n_{кр}$ ;
- б) частота обертання  $n=n_{кр}$ ;
- в) частота обертання  $n>n_{кр}$ .

Узагальнена залежність продуктивності гідротурбінної мийки з урахуванням ефективною площі перерізу, швидкості транспортування, середньої об'ємної густини у воді та впливу струменів записується як:

$$Q_{\{d\}} = 3600, \phi_{\{e\}}, S_{\{d\}}, v, \rho_{\{w\}}, k_{\{j\}} \quad (2.6)$$

де  $S_d$  - ефективна площа поперечного перерізу зони транспортування,  $m^2$ ;

$v$  - середня швидкість транспортування у ванні,  $m/s$ ;

$\rho_w$  - середня об'ємна густина оброблюваної маси у воді,  $kg/m^3$ ;

$k_j$  - коефіцієнт впливу водяних струменів (типово 1,1–1,3).

Залежність (2.6) є попередньою і не враховує природу та початкову частку забрудників. Потрібний об'єм робочої зони барабана пов'язують із часом перебування у воді  $\tau_w$ :

$$V = \phi_{\{e\}}, S_{\{d\}}, v, \tau_{\{w\}} \quad (2.7)$$

Баланс потоків на дільниці ПТЛ, де працює одна мийка, дає об'єм барабана через потрібний масовий потік чистого продукту  $Q_{\text{потр}}$  та середню густину у воді:

$$V = \{Q_{\text{потр}}\} \{ \rho_{\{w\}} \}, \tau_{\{w\}} = \{ (\sum N_{\{j\}}, q_{\{j\}}) \} \{ \rho_{\{w\}} \}, \tau_{\{w\}} \quad (2.8)$$

Приймаючи діаметр барабана  $D$  за типовий, довжину  $L$  знаходимо з умови  $V = S_d/L$ :

$$L = \{V\} \{S_{\{d\}}\} = \{4, V\} \{ \pi D^2 \} \quad (2.9)$$

Об'єм мийної ванни оцінюють сумою складових: об'єм барабана (включно із секцією відводу води/забрудників), секції відводу, еквівалентного об'єму ковшів, робочої води та пасивних порожнин:

$$V_{\{\text{ван}\}} = V_{\{\text{бр}\}} + V_{\{\text{сек}\}} + V_{\{\text{ков}\}} + V_{\{\text{в}\}} + V_{\{\text{пор}\}} \quad (2.10)$$

$V_{\{\text{ван}\}}$  - сумарний об'єм мийної ванни,  $\text{м}^2$ .

$V_{\{\text{бр}\}}$  - об'єм, зайнятий барабаном (із секцією видалення),  $\text{м}^2$ .

$V_{\{\text{сек}\}}$  - об'єм секції видалення води/забрудників,  $\text{м}^2$ .

$V_{\{\text{ков}\}}$  - еквівалентний об'єм ковшів,  $\text{м}^2$ .

$V_{\{\text{в}\}}$  - об'єм технологічної води,  $\text{м}^2$ .

$V_{\{\text{пор}\}}$  - пасивні порожнини,  $\text{м}^2$ .

Еквівалентний об'єм, що займають ковші, знаходимо як:

$$V_{\{\text{ков}\}} = V_{\{1\{\text{ков}\}\}, Z_{\{\text{ков}\}\}, k_{\{\text{вик}\}} \} \quad (2.11)$$

$V_{1\{\text{ков}\}}$  - об'єм максимально розкритого ковша,  $\text{м}^2$ .

$Z_{\{\text{ков}\}}$  - кількість ковшів на барабані, шт.

$k_{\{\text{вик}\}}$  - коефіцієнт використання об'єму ковша.

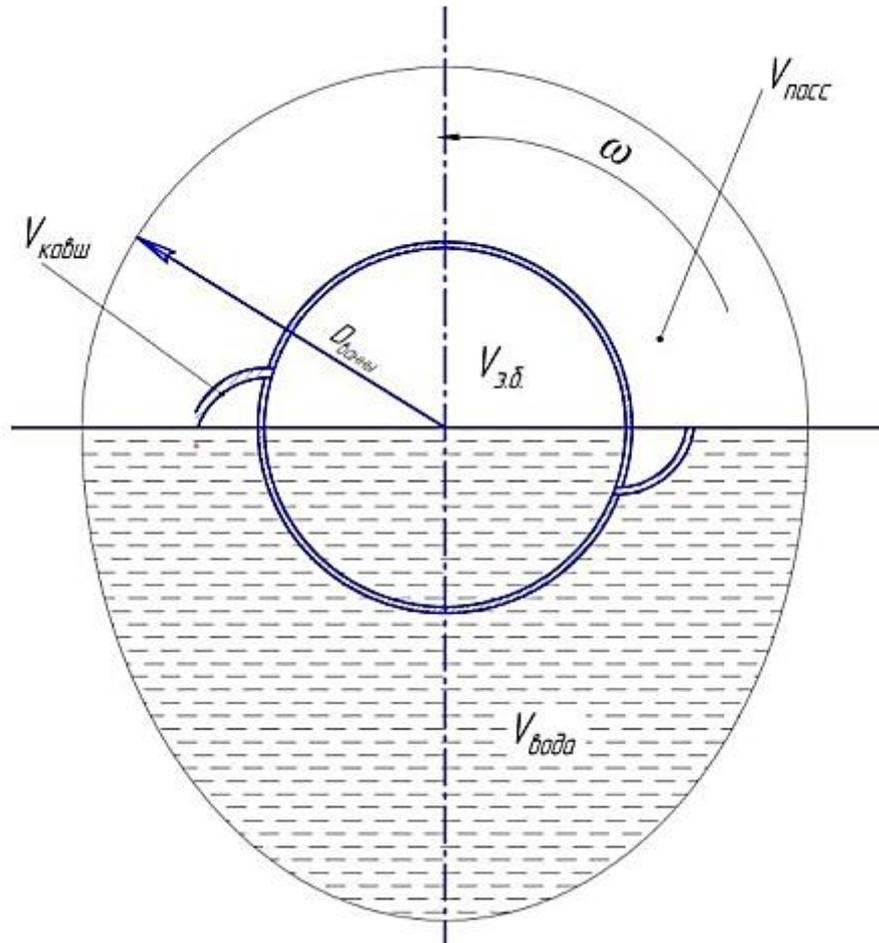


Рисунок 2.2 - Схема до розрахунку об'єму мийної ванни гідротурбінної коренебульбомийки

Сумарний «ковшовий» об'єм виходить із умови відштовхування шару коренебульбоплодів від внутрішньої стінки барабана. За заданого безрозмірного параметра частоти  $\omega$  (співвідношення часу дії до характерного часу перенесення імпульсу) і високих значеннях осциляційного впливу  $\Gamma$ , за усталеного коефіцієнта заповнення барабана  $\varphi$ , маса коренебульбоплодів з водою займає в барабані сегмент, обмежений хордою  $AB$ . Хорда  $AB$  є основою трикутника  $AOB$  з кутом при вершині  $O$  (центр кола барабана). У такому режимі лише частина коренебульбоплодів у межах цього сегмента активно перекочується по хорді  $AB$ , тоді як решта переміщуються пасивно вздовж дуги  $AcB$ .

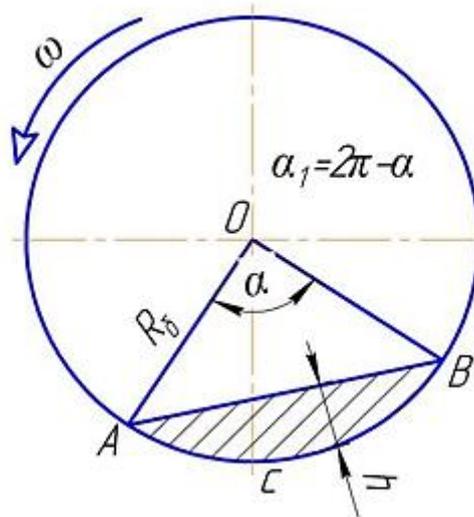


Рисунок 2.5 - Схема розташування коренебульбоплодів із водою в барабані

Щоб інтенсифікувати очищення коренебульбоплодів, потрібно підвищити частоту «зміни» робочої поверхні  $AB$  - тобто збільшити частоту обертання барабана - і водночас руйнувати цілісність сегмента дією водяних струменів з боку ванни (із ковшів), при цьому запобігаючи суцільному центробіжному обертанню вороху у внутрішній частині барабана.

Для впорядкування роботи гідротурбінної коренебульбомийки умовно поділяємо внутрішній об'єм барабана (рис. 2.6) на  $n$  однакових сегментів, обмежених послідовними хордами (1–2, 2–3, 3–4 тощо) за умови рівномірного заповнення продуктом і водою. З міркувань зручності розрахунку доцільно вибирати довжини (або число) хорд так, щоб вони були кратними 3, 6, 12, 24 чи 4, 8, 16, 32 (тобто кратні 2 або 3) - це спрощує модульну побудову та налагодження.

Точки поділу кола барабана з'єднують із центром  $O$ , утворюючи правильний вписаний  $n$ -кутник з рівними центральними кутами  $\alpha=2\pi/n$ .

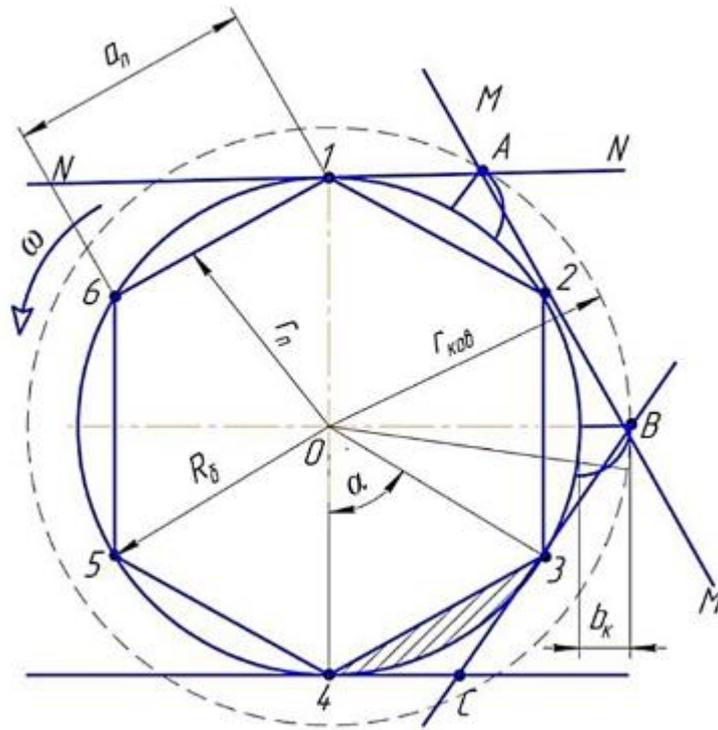


Рисунок 2.6 - Схема сегментації шару (продукт + вода) у барабані радіуса  $R$  та траєкторій нагнітальних ковшів  $R_{\text{ков}}$

Щоб маса води з ванни однаково впливала на масу продукту в кожному сегменті, нагнітальні ковші потрібно рівномірно розмістити по поверхні барабана радіуса  $R$  і довжини  $L$ . Для цього навколо того самого кола будують описаний правильний  $n$ -кутник:

поділяють коло на  $n$  рівних частин і позначають точки (A, B, C, D, E, F), що відповідають серединам сегментів;

у цих точках проводять дотичні (N–N, M–M тощо) до кола;

відрізки дотичних обмежують точками перетину з дотичними у сусідніх точках поділу (1, 2, 3, 4, 5, 6), у підсумку отримують правильний багатокутник, описаний навколо кола барабана.

Радіус траєкторії ковшів  $R_{\text{ков}}$  у цьому описаному багатокутнику більший за радіус барабана  $R$  на величину, що дорівнює висоті ковша (ківш виступає за контур барабана). Усі трикутники типу A12, B23 тощо - рівнобедрені з однаковими кутами при вершині та рівними основами; отже, вписаний і описаний

$n$ -кутники подібні й мають спільний центр  $O$ .

Із геометрії: апофема описаного багатокутника дорівнює радіусу вписаного кола, тобто  $R$ , тоді як його описаний радіус дорівнює  $R_{\text{ков}}$ ; завжди  $R < R_{\text{ков}}$

Тому відстань до вершин ковшів визначена геометрією правильного  $n$ -кутника. Співвідношення між стороною, апофемою та описаним радіусом залежать лише від  $n$  і можуть бути використані як зручні розрахункові формули для вибору кількості ковшів і рівномірного кроку їх розташування.

### 2.3 Теоретичне обґрунтування динаміки рідини

Теоретичні та експериментальні дослідження, виконані як вітчизняними, так і зарубіжними авторами, показують, що у багатьох роботах технологічний процес миття коренебульбових культур у машинах барабанного типу розглядається без урахування впливу динаміки рідинних потоків, які формуються у внутрішньому об'ємі обертового барабана. Такий спрощений підхід знижує точність теоретичних моделей та стримує подальше удосконалення параметрів машин для миття коренеплодів.

У експериментальній гідротурбінній коренебульбомийці процес взаємодії коренеплодів з робочим середовищем визначається дією протилежних сил. З одного боку, на коренебульби діє відцентрова сила  $K_{\text{ц}}$ , що виникає у процесі обертання барабана. З іншого боку, діє доцентрова сила потоку рідини (води), що утворюється робочим органом – струменями води, які нагнітаються ковшами. Саме ця сила притискає коренеплоди до внутрішньої поверхні барабана і забезпечує їх залучення у спільний обертальний рух.

Дана взаємодія може бути описана залежністю:

$$K_{\text{ц}} = m \cdot \omega_{\text{кр}}^2 \cdot r_{\text{ц}} \quad (2.12)$$

де  $K_{\text{ц}}$  – сила, що виникає внаслідок дії центру ваги маси коренебульб у барабані;

$m$  – маса коренебульб у барабані, кг;

$\omega_{кр}$  – критична колова швидкість обертання барабана, м/с;

$r_{ц}$  – середній радіус центру ваги шару коренеплодів у барабані, м.

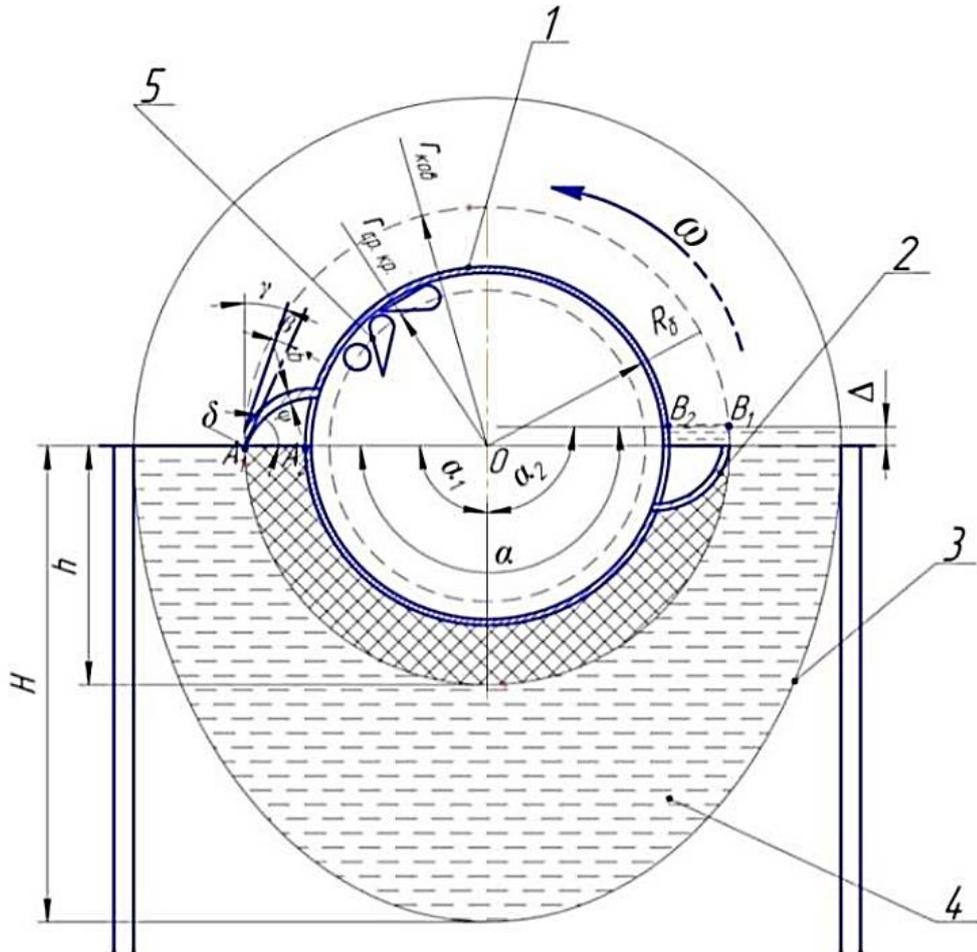


Рисунок 2.7– Схема для теоретичного розрахунку параметрів нагнітальних ковшів коренебульбомийки

З іншого боку, коренебульби під дією струменів води, які створюються виконавчим механізмом (ковшами), періодично відриваються від внутрішньої поверхні барабана. Основними елементами гідротурбінної коренебульбомийки (рис. 2.7) є барабан 1, частково заповнений коренеплодами 5, на якому по гвинтовій лінії розташовані нагнітальні ковші 2. Барабан занурений у ванну

3 з водою 4. Струмені води, що формуються ковшами, створюють гідродинамічний вплив на коренебульби, тим самим забезпечуючи їхнє переміщення, взаємне перетирання та інтенсифікацію процесу миття.

Ковші розташовані на барабані під кутом  $28^\circ$ , який вибрано конструктивно, виходячи з умови забезпечення оптимальної стійкості роботи барабана та рівномірного охоплення рідини під час роботи установки. Частина коренеплодів, які притиснуті до внутрішньої поверхні барабана під дією відцентрових сил, продовжує рух над поверхнею води. У цьому секторі барабана на внутрішній поверхні поступово відкладаються частинки забруднення, що відриваються з поверхні коренеплодів під час їхнього переміщення.

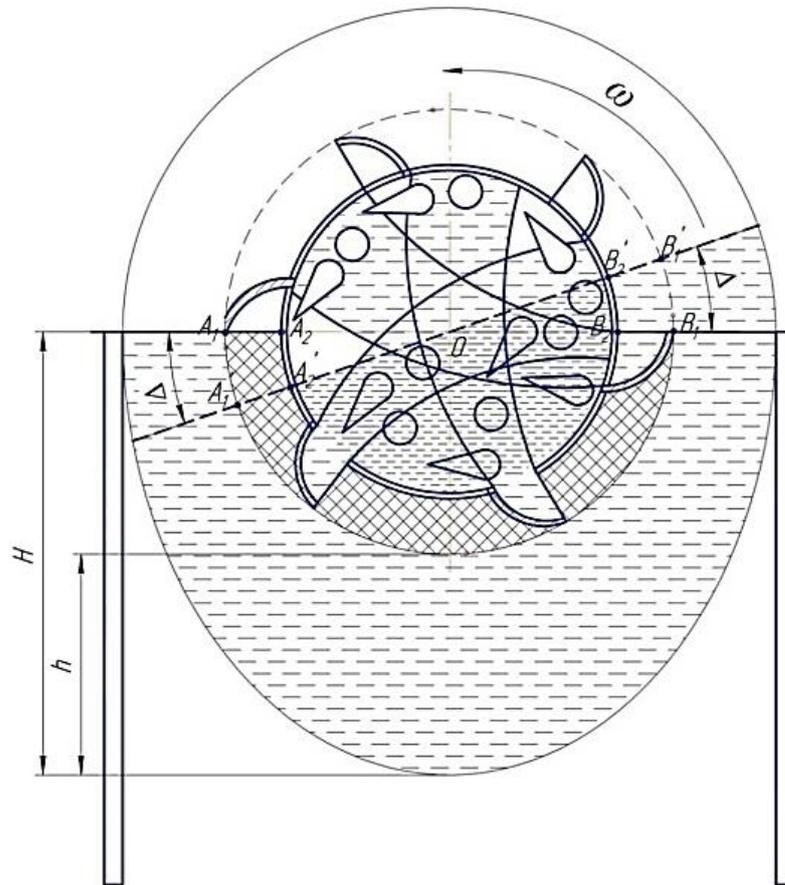


Рисунок 2.8 – Схема для теоретичного розрахунку параметрів водяних струменів

При обертанні барабана з кутовою частотою  $\omega$  ковші з поперечним перерізом  $E_{\text{п}}$  здійснюють зачерпування води (рисунок 2.8) та пропускають її че-

рез себе певною кількістю окремих струменів (рисунок 2.9). Внутрішній радіус барабана становить 300 мм, а зовнішній – 386 мм. Рух цих струменів всередині барабана забезпечує обмивання коренебульб, притиснутих до поверхні, і полегшує їх переміщення, сприяючи більш інтенсивному механічному очищенню завдяки взаємному контакту.

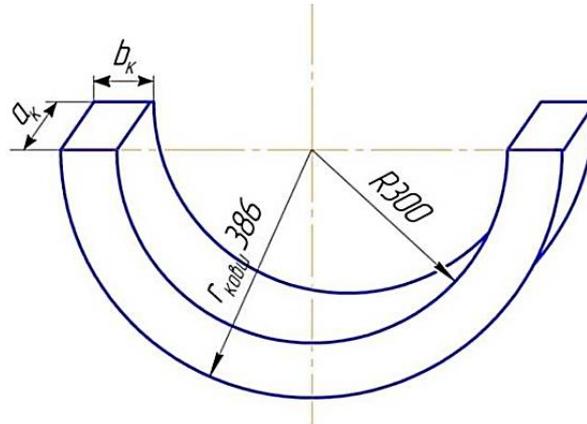


Рисунок 2.9 – Схема для теоретичного розрахунку параметрів водяних струменів

В зоні входження ковша у воду, кут зачерпування становить 87°, а в зоні виходу з води – 8°. Середній об’єм води, що зачерпується одним ковшем за один оборот барабана, визначається виразом:

$$V_B = E_{\Pi} \cdot T_{\Pi} \cdot h_B \cdot \alpha \quad (2.13)$$

де  $E_{\Pi}$  – ширина ковша,  $T_{\Pi}$  – його глибина,  $h_B$  – висота шару води,  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує кутову зону зачерпування.

У режимі центрифугування водяний шар, що знаходиться усередині барабана, розподіляється рівномірною товщиною по внутрішній поверхні. Завдяки тому, що густина води є більшою від густини коренебульб, відбувається зміщення останніх ближче до центру обертання барабана. Це змушує їх повертатися у нижню частину барабана по криволінійній траєкторії.

Водяні струї ковшів, що мають значну кінетичну енергію, постійно взаємодіють із розподіленим шаром рідини, порушують його рівномірність та заміняють його новими порціями води, що надходять із ковшів при кожному обороті барабана. У процесі руху струмені води, що виходять з ковшів, розподіляються на декілька частин внаслідок зіткнення з поверхнею коренеплодів та внутрішніми ділянками барабана.

Завдяки цьому формується хаотична, турбулентна та інтенсивна структура мікроперемішування рідини, що сприяє активному відокремленню забруднень з поверхні коренеплодів і їх наступному осадженню на внутрішню поверхню барабана.

## 2.4 Висновки до розділу

Для підвищення ефективності використання кормів та зниження питомих витрат на процес миття коренебульб встановлено закономірності перетворення вхідних потоків енергоносіїв у максимальне енергетичне наповнення кінцевого продукту. Це дозволяє мінімізувати технологічні втрати та забезпечує раціональніший режим роботи обладнання.

Розроблені теоретичні залежності для визначення продуктивності коренебульбомийних машин враховують динаміку руху рідини у частково заповненому барабані з горизонтальною віссю обертання, а також відсоток початкової та кінцевої забрудненості коренебульб. Це забезпечує більш точне конструювання машин та прогнозування результатів їх роботи.

Отримані аналітичні залежності дали можливість визначити оптимальні геометричні та кінематичні параметри: діаметр барабана 0,6 м, частоту його обертання  $60 \text{ хв}^{-1}$ , розміри нагнітальних ковшів  $64 \times 115 \text{ мм}$ . Кількість ковшів визначається залежно від необхідної продуктивності та може становити від 12 до 48 шт. з кроком розміщення 65, 130 та 260 мм. Після розрахунків довжина барабана  $L$  прийнята 1640 мм.

## 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МИТТЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

### 3.1 Експериментальна установка

Для проведення досліджень експериментальної гідротурбінної коренебульбомийки була виготовлена експериментальна установка (рисунок 3.1), що включала: ваги 1 типу ЕТВУ-2, на яких розміщувався транспортер 2 коренебульб з завантажувальним бункером 3 для забруднених коренеплодів; завантажувальну воронку 4 для подачі коренебульб всередину барабана 6, який обертається у воді та закритий кожухом 5.

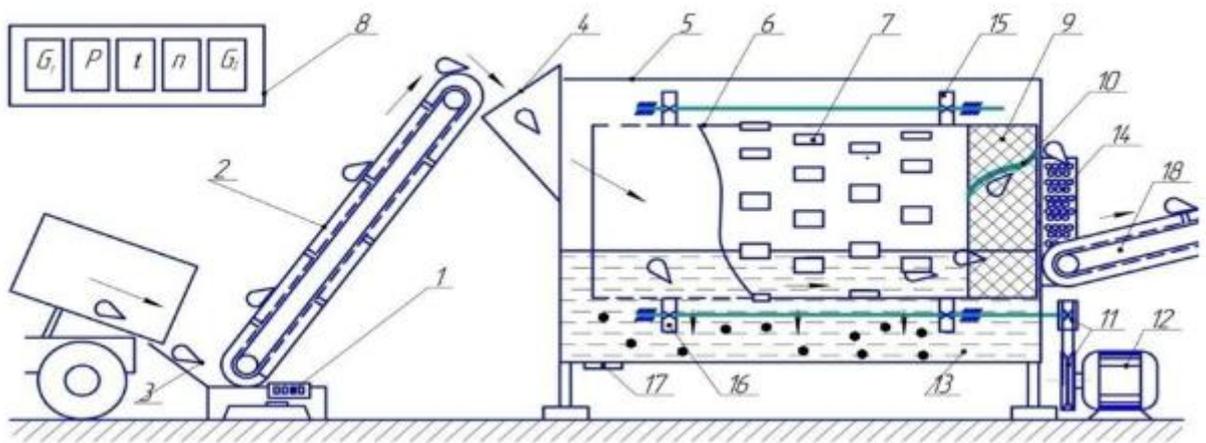


Рисунок 3.1 – Схема лабораторної установки для дослідження барабанної гідротурбінної коренебульбомийки

1 – ваги; 2, 18 – транспортери; 3 – бункер забруднених коренеплодів; 4 – завантажувальна воронка; 5 – кожух; 6 – барабан; 7 – нагнітальні ковші; 8 – пульт керування; 9 – секція видалення води і забруднень; 10 – вивантажувальний скребок; 11 – шківи; 12 – регульований електродвигун; 13 – грязевідстійник; 14 – лоток; 15 – притискні ролики; 16 – опорно-привідні ролики; 17 – заслінка.

На поверхні барабана 6 встановлювалися змінні робочі елементи нагнітальних ковшів 7, що склалися з двох паралельних сегментів (рисунок 4.3). У середині цих сегментів розташовано козирок 8, який має можливість змінювати кут атаки  $\alpha$  та фіксувати його положення за допомогою фіксатора 9 відносно осі 10. Керування технологічним процесом здійснювалося з пульта 8 (рис. 3.1), на якому відображались: маса коренеплодів, що подаються на обробку  $G_1$ , маса вже вимитих коренеплодів  $G_2$ , споживана потужність  $P$ , час перебування коренеплодів у воді  $t$  та частота обертання барабана  $n$ .

Після ковшової частини барабана передбачена секція 9 для видалення води і забруднень, в якій встановлений вивантажувальний скребок 10. Привід барабана 6 забезпечувався змінними шківками 11, з'єднаними еластичною передачею з чотиришвидкісним асинхронним електродвигуном 12 серії АО2-62-12/8/6/4 (500/750/1000/1500 об/хв). У нижній частині барабана розташовані грязевідстійники 13, з яких через заслінки 17 видаляли та зважували відокремлений бруд. Барабан 6 встановлений на чотирьох опорно-привідних роликах 16, а зверху його додатково стабілізували притискні ролики 15. Вимиті коренеплоди по лотку 14 надходили на транспортер 18 і далі – у контрольні ємності. Після обробки кожної порції проводили спуск відстою забруднень у грязезбірник.

Для контролю якості процесу миття відбирали пробу з п'яти коренеплодів і за відомою методикою визначали залишкову забрудненість та втрату початкової. Перед початком роботи проводили огляд експериментальної установки з метою виключення наявності сторонніх предметів. Пусковий порядок передбачав включення в холостому режимі вивантажувального транспортера 18, робочого барабана 6 та завантажувального транспортера 2 з пульта керування 8. Встановлювали мінімальну частоту обертання електродвигуна 12, а вивантажувальний скребок 10 регулювали на мінімальну продуктивність.

Ванну установки заповнювали водою на висоту  $1/3$  діаметра барабана. У бункер 3 завантажували заздалегідь зважені забруднені коренебульби, після чого за показаннями ваг визначали їх масу. Під вивантажувальний транспортер 18 встановлювали контрольну ємність. Далі визначали вихідну масу забруднених коренебульб.

Після виходу барабана на робочий режим вмикали завантажувальний транспортер 2. По масі коренебульб і по часу заповнення контрольних ємностей визначали продуктивність установки. Розраховували залишкову забрудненість вимитих коренеплодів, після чого виконували коригування режимів продуктивності та якості очищення за рахунок регулювання положення вивантажувального скребка 10. Відпрацьовану воду та забруднення збирали у грязезбірник, розташований під рамою дослідної гідротурбінної коренебульбомийки.

### **3.2 Результати експериментальних досліджень**

Отримані експериментальні дані обробляли у програмному середовищі Mathcad, після чого будували графічні залежності продуктивності  $Q$  (рисунок 3.2). Аналіз побудованих графіків показав, що при коефіцієнті заповнення барабана 0,1 (залежність 1) та частоті обертання  $10 \text{ хв}^{-1}$  продуктивність становила близько 800 кг/год.

При збільшенні частоти обертання до  $20 \text{ хв}^{-1}$  продуктивність зростала практично лінійно, однак при подальшому збільшенні  $n$  характер зростання продуктивності переходив у криволінійний.

Маса коренебульб, що зачерпуються одним ковшем, становила 1,35 кг. Підвищення коефіцієнта заповнення барабана з 0,1 до 0,2 призвело до зростання продуктивності (залежність 2) майже у два рази при частоті обертання  $10 \text{ хв}^{-1}$ .

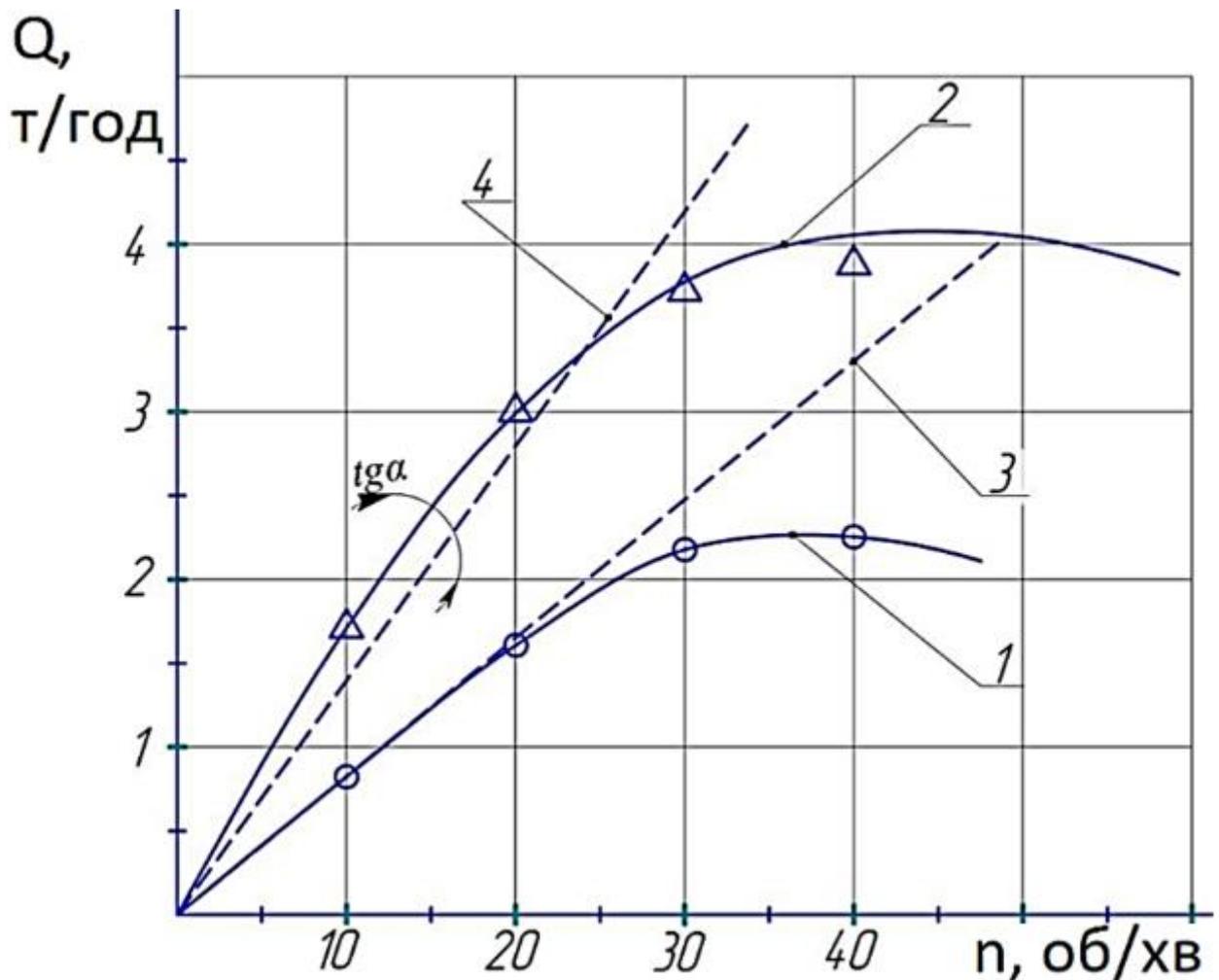


Рисунок 3.2 – Продуктивність барабанної коренебульбомийки з вивантажувальними ковшами залежно від частоти обертання при очищенні цукрового буряку із загальною забрудненістю 9,9 % та вологістю забруднювача 17,1 %, за витрати води 310 л/т продукту, втрати маси 5,2 %, пошкодження шкірки 9,9 %.

- 1 – графік продуктивності при одному вивантажувальному ковші;
- 2 – графік продуктивності при двох вивантажувальних ковшах;
- 3 – теоретична залежність продуктивності при одному ковші;
- 4 – теоретична залежність продуктивності при двох ковшах.

Зростання продуктивності  $Q$  спостерігалось за лінійною залежністю до частоти обертання  $20 \text{ хв}^{-1}$  як при одному, так і при двох ковшах. Підвищення

частоти від 20 до 30  $\text{хв}^{-1}$  зменшувало інтенсивність росту продуктивності: приблизно до 2260  $\text{кг/год}$  при одному ковші та до 3800  $\text{кг/год}$  при двох ковшах. Подальше збільшення частоти у діапазоні 30–40  $\text{хв}^{-1}$  давало приріст продуктивності лише на 1–2 %, що пояснюється повторним захопленням частини коренеплодів у зону обертання під дією відцентрових сил. При цьому залишкова забрудненість продукту збільшувалася більш ніж на 3 %.

Частота обертання барабана у межах 10–15  $\text{хв}^{-1}$  забезпечує низьку продуктивність, а якість миття не відповідає встановленим зоотехнічним нормам (2,0–3,0 %) при експозиції не більше 6  $\text{хв}$ , що підтверджує вплив високих значень параметра інтенсивності взаємодії.

Аналіз графіків витрат електроенергії на привід гідротурбінної коренебульбомийки показав, що найбільш енерговитратною культурою для миття виявилася цукрова бурякова сировина. При температурі води 7,1  $^{\circ}\text{C}$  та продуктивності 5  $\text{т/год}$ , за початкової забрудненості 10 %, потрібна потужність становила 0,8  $\text{кВт}$  (залежність 3). При зростанні продуктивності миття до 10, 15 та 17  $\text{т/год}$  відповідно, споживана потужність досягала 1,5; 1,92 та 1,98  $\text{кВт}$ .

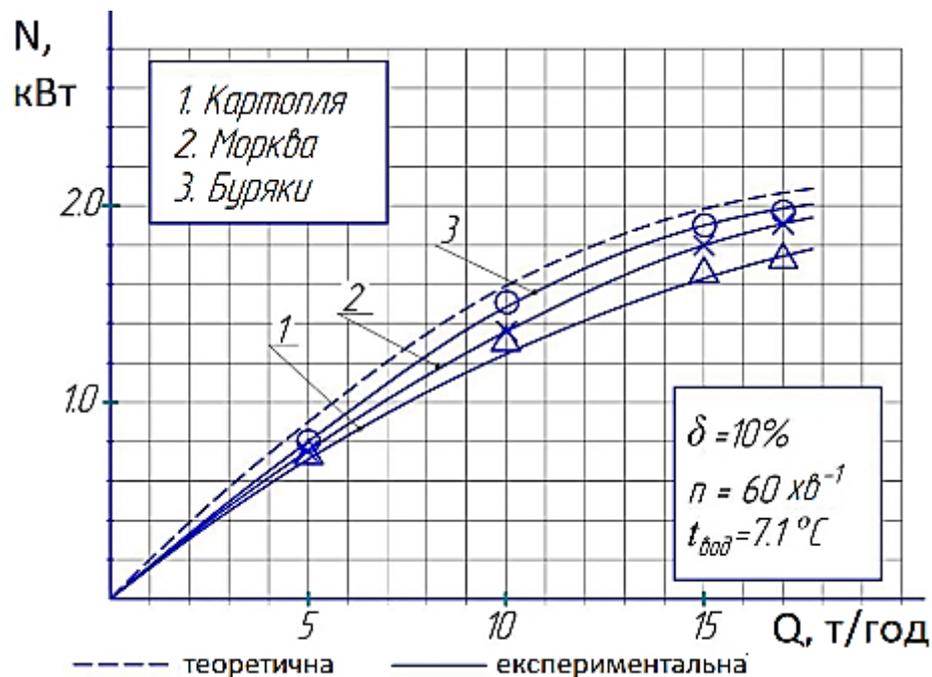


Рисунок 3.3 – Графіки залежності споживаної потужності від продуктивності миття коренебульб

Менш енерговитратною культурою в процесі миття є картопля: за продуктивності 5 т/год необхідна потужність становила лише 0,71 кВт. Підвищення продуктивності у 2 рази призвело до зростання споживаної потужності до 1,35 кВт, а при  $Q=15$  т/год потужність двигуна становила 1,76 кВт, при  $Q=17$  т/год – досягала 1,81 кВт.

При митті кормової моркви за аналогічних режимів, що і при обробці цукрових буряків та картоплі, енергетичні витрати займали проміжне положення і змінювалися у межах 0,73; 1,4; 1,8 та 1,93 кВт. Витрата води при цьому становила 170–220 л/т оброблених коренебульб.

Незважаючи на певні переваги відомих типів коренебульбомийок, що працюють із використанням води, вони мають суттєві недоліки – невисоку продуктивність, що призводить до переохолодження вже вимитого продукту, а за низьких температур трубопроводи та арматура можуть промерзати. Через це такі машини потребують теплого приміщення, що обмежує можливість їх застосування, особливо у малих фермерських господарствах.

Розроблена гідротурбінна коренебульбомийка продемонструвала здатність працювати при температурах нижче 0 °С на відкритих вигульних майданчиках або під навісом, що значно розширює сферу її використання і знижує вимоги до умов експлуатації.

### **3.3 Висновки по розділу**

Енергоспоживання гідротурбінної коренебульбомийки значною мірою залежить від виду оброблюваної культури. Найбільш енерговитратним виявилось миття цукрових буряків, тоді як картопля потребує мінімальної потужності приводу за однакових режимів роботи.

Із зростанням продуктивності установки споживана електрична потужність збільшується. Проте характер цього зростання є нелінійним: після досягнення частоти обертання барабана  $20 \text{ хв}^{-1}$  темп зростання продуктивності зменшується, а при частотах понад  $30 \text{ хв}^{-1}$  приріст  $Q$  становить лише 1–2 %, що свідчить про зниження ефективності подальшого форсування режимів роботи.

Підвищення коефіцієнта заповнення барабана з 0,1 до 0,2 майже вдвічі збільшує продуктивність установки при низьких частотах обертання, однак при високих частотах запускається повторне захоплення коренебульб у поточкові завихрення, що погіршує якість миття та збільшує залишкову забрудненість.

Розроблена гідротурбінна коренебульбомийка продемонструвала можливість ефективної роботи при від'ємних температурах зовнішнього середовища, у тому числі на відкритих площадках та під навісами, що суттєво розширює її сферу застосування порівняно з традиційними водяними мийними установками.

Оптимізація режимів роботи, вибір продуктивності та геометричних параметрів нагнітальних ковшів є ключовими факторами підвищення енергоефективності та забезпечення нормативної якості очищення коренебульб у виробничих умовах.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі**

#### **з мийкою коренеплодів**

До роботи з мийкою коренеплодів допускаються працівники, які досягли 18-річного віку, пройшли навчання та перевірку знань з охорони праці відповідно до вимог Законів України “Про охорону праці”, “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення”, НПАОП 0.00-4.12-05 “Типове положення про навчання з питань охорони праці”, а також пройшли інструктаж згідно з НПАОП 0.00-4.15-98 “Положення про розробку інструкцій з охорони праці” та медичний огляд згідно з Порядком №246 МОЗ України. Перед початком роботи оператор повинен переконатися у справності обладнання, цілісності захисних огорожень, надійності кріплень, відсутності сторонніх предметів у зоні роботи машини та штатному стані електропроводки і заземлення.

Під час роботи необхідно дотримуватися вимог безпеки при експлуатації електромеханічного обладнання, уникати доторку до рухомих частин, обертових барабанів, конвеєрів та транспортерів, а також забороняється проводити ремонт, очищення та регулювання механізмів під час їх роботи. Перед проведенням будь-яких технічних втручань обладнання повинно бути повністю зупинене та знеструмлене.

Оператор повинен працювати у спеціальному робочому одязі, гумових чоботах або взутті з неслизькою підошвою, захисних рукавицях та при необхідності у захисних окулярах. У приміщенні повинна бути забезпечена справна вентиляція та освітлення. Робоча зона мийки має бути чистою, без накопичення води і залишків бруду, щоб уникнути травмування внаслідок ков-

зання або падіння. По завершенні роботи необхідно вимкнути електроживлення, провести промивання ванни та барабана, видалити залишки продукту та забруднень, перевести обладнання у безпечний стан та повідомити відповідальну особу про можливі несправності, виявлені під час роботи.

#### **4.2 Оцінка небезпечних факторів з точки зору охорони праці при експлуатації мийки коренеплодів**

Оцінка небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації мийки коренеплодів може бути проведена з урахуванням впливу механічних, електричних, фізичних, хімічних та ергономічних небезпек на працівника. Робота мийки пов'язана з обертанням барабана, переміщенням коренеплодів транспортером, дією струменів води та контактами з мокрими поверхнями, що формує комплекс ризиків.

До основних небезпечних факторів належать механічні травмонебезпечні елементи: обертовий барабан, вивантажувальні ковші, привідні елементи, ролики та транспортери, які можуть спричинити затягування, защемлення чи травмування рук при недотриманні правил безпеки. Окрім цього, експлуатація установки передбачає використання електродвигунів і електричних мереж, що створює ризик ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції, порушенні герметичності електрообладнання, роботі в умовах підвищеної вологості.

Джерелом додаткової небезпеки є мокрі підлоги, наявність води та залишків ґрунту, що формують ризик падіння працівника через слизьку поверхню. При обробці коренеплодів з високим рівнем забрудненості можливе утворення аерозольних бризок, що створює небезпеку подразнення слизових оболонок очей та шкіри. Холодні режими роботи або робота на відкритих майданчиках у зимовий період можуть спричинити переохолодження організму працівника.

Також під час підсипання, завантаження та вибірки коренеплодів можливі прояви важкої фізичної праці та статичного перенавантаження опорно-рухового апарату.

З погляду охорони праці зазначені небезпечні фактори потребують комплексної системи попередження: використання захисних кожухів, заземлення, справної вентиляції, захисного одягу та рукавиць, використання неслизького взуття, суворого виконання інструкцій з експлуатації та заборони втручання у роботу механізмів під час їх обертання. Усунення або зниження впливу зазначених небезпек є ключовою умовою безпечної експлуатації мийки коренеплодів у виробничих умовах.

### **4.3 Порядок дій під час артобстрілу**

У разі початку артилерійського обстрілу необхідно негайно припинити виконання робіт, вимкнути електрообладнання та якомога швидше перейти у безпечне місце укриття. Якщо поблизу є захисна споруда, сховище або спеціально обладнане укриття – потрібно негайно спуститися до нього. За відсутності капітального укриття слід використати найперше доступне укриття місцевості: заглиблення у ґрунті, канава, траншея, підвал, глибока канава, обрив, яма, бетонні конструкції або інші природні та штучні укриття, які знижують ризик ураження уламками та вибуховою хвилею. Не можна перебувати біля техніки, металевих конструкцій без укриття, біля скла, великих віконних прорізів, цистерн, газових балонів, а також відкритих майданчиків.

Під час укриття важливо щільно притиснутися до землі, закрити голову руками або наявними засобами та максимально захистити шию і груди. У сховищі необхідно перебувати до повного припинення обстрілу та отримання підтвердження про безпеку. Після закінчення обстрілу потрібно діяти обережно,

оскільки можливі повторні постріли, нерозірвані снаряди або уламки. Виходити з укриття дозволяється лише після впевненості у відсутності подальшої загрози обстрілу та за можливості – після дозволу уповноважених осіб або сил цивільного захисту.

#### **4.4 Висновки по розділу**

Проведена оцінка умов праці при експлуатації мийки коренебульб показала наявність комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів механічного, електричного та фізичного характеру, які потребують застосування організаційних і технічних заходів безпеки. Забезпечення працездатності захисних огорожень, справного стану електрообладнання, використання засобів індивідуального захисту та виконання вимог нормативно-правових актів з охорони праці дозволяє мінімізувати ризики травмування персоналу та забезпечити безпечну експлуатацію мийної установки. Реалізація рекомендованих заходів дає можливість знизити професійні небезпеки та створити безпечні умови праці у технологічному процесі миття коренеплодів.

## **5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОЇ МИЙКИ КОРЕНЕПЛОДІВ**

### **5.1 Вихідні дані**

У цьому розділі аналізується очікувана економічна ефективність використання удосконаленої гідротурбінної коренебульбомийки порівняно з типовою барабанною мийкою (аналогом). Розрахунки виконуємо для молочно-товарної ферми на 400 корів (річний обсяг миття коренеплодів – 730 т.). Для зіставності показників приймаємо однакові виробничі умови (номенклатура сировини, річний і добовий обсяг робіт, режим роботи персоналу).

### **5.2 Розрахунок показників економічної ефективності**

Порівняння базової та удосконаленої мийки коренебульбоплодів проводиться на основі аналізу питомих експлуатаційних витрат, до складу яких входять витрати на електроенергію, заробітну плату обслуговуючого персоналу, амортизаційні відрахування, а також витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання. Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити ефективність роботи мийної установки в умовах реального виробництва.

Для проведення розрахунків застосовуються методики та рекомендації, наведені у джерелі [36]. Особливу увагу приділено впливу конструктивних удосконалень гідротурбінної мийки на зниження експлуатаційних витрат. Наприклад, більш раціональна конструкція нагнітальних ковшів, зменшення енергоспоживання приводу та зниження витрати води дають можливість зменшити собівартість миття однієї тонни коренеплодів. Також враховується вибір більш надійних матеріалів і компонентів, що дозволяє знизити витрати на технічне обслуговування протягом експлуатаційного періоду.

Окреме значення має оцінка трудовитрат, оскільки підвищена продуктив-

вність удосконаленої мийки зменшує тривалість виконання операцій і підвищує ефективність використання робочого часу. Комплексний аналіз технічних і економічних параметрів дозволяє сформулювати чітке уявлення про економічні переваги удосконаленої мийної установки та сприяє оптимізації загальних витрат при виробництві кормів для тваринництва.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків економічної ефективності

Показник	Серійна ба- рабанна	Удосконалена гідротурбінна
Річний обсяг робіт, т	730	730
Добовий обсяг, т	3,5	3,5
Продуктивність, т/год	5,0	6,0
Потужність приводу, кВт	1,20	0,80
Питома енергоємність, кВт·год/т	0,240	0,133
Витрати на ел. енергію, грн/т	0,62	0,35
Заробітна платня, грн/т	24,00	20,00
ТО та ремонт, грн/т	2,06	2,22
Амортизація, грн/т	24,52	26,46
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн/т	71,20	49,03
Економія експлуатаційних витрат, грн/т	—	2,17
Річний економічний ефект, грн	—	15 840
Капітальні вкладення, грн	125 000	177 000
Строк окупності, років	—	3,31
Витрата води, л/т	210	180

### 5.3 Висновки по розділу

Проведений порівняльний аналіз показав, що удосконалена гідротурбінна мийка забезпечує зниження питомих експлуатаційних витрат за рахунок

меншої енергоємності процесу та підвищеної продуктивності, що скорочує трудові витрати на тонну обробленої сировини. За прийнятих умов економія становить близько 22,17 грн/т (13–15 %), річний ефект - 16 тис. грн при річному обсязі 730 т. З урахуванням різниці у капітальних вкладеннях строк окупності додаткових інвестицій оцінено на рівні 3,3 року; при включенні вартості води/очищення у статтю витрат - строк окупності скорочується.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі виконано комплексне дослідження, спрямоване на удосконалення технологічного процесу миття коренебульб та обґрунтування параметрів гідротурбінної мийки з метою підвищення ефективності механізації кормовиробництва у тваринництві. Проведено аналіз сучасних типів мийних машин, виявлено їх технічні недоліки та визначено напрями підвищення продуктивності та енергоефективності процесу. На основі теоретичних досліджень розроблено залежності, які описують динаміку рідини та поведінку коренебульб у барабані мийки, що дозволило обґрунтувати конструктивні та режимні параметри нагнітальних ковшів, оптимальні швидкісні режими та коефіцієнт заповнення робочої камери.

У ході експериментальних досліджень встановлено закономірності впливу частоти обертання барабана, витрати води та конструктивних параметрів робочих органів на продуктивність, якість миття та енергоспоживання установки. Визначено раціональні режимні параметри, які забезпечують стабільну роботу мийки, мінімальні втрати маси та допустимий рівень пошкодження поверхні коренебульб, що відповідає ветеринарно-зоотехнічним вимогам.

Розроблена удосконалена конструкція гідротурбінної коренебульбомийки забезпечує зниження питомої енергоємності процесу, зменшення витрати води та збільшення продуктивності порівняно з серійними аналогами. Економічна оцінка показала наявність позитивного річного економічного ефекту та зниження експлуатаційних витрат, що підтверджує доцільність впровадження запропонованого технічного рішення у виробничі умови.

Виконана робота має практичну цінність для тваринницьких господарств різних форм власності, може бути використана у складі технологічних ліній підготовки кормів та сприяє підвищенню рівня механізації і енергоефективності процесів приготування кормів для високопродуктивної худоби.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Міністерство аграрної політики та продовольства України, & Національна академія аграрних наук України. (2018). Національний проєкт «Відроджене скотарство» (Текст, таблиці, додатки). Київ: ДІА, 44 с.
2. Державна служба статистики України. (n.d.). Офіційний сайт Державної служби статистики України. <https://www.ukrstat.gov.ua>
3. Прокопенко, О. М. (Ред.). (2024). Сільське господарство України: Статистичний збірник 2024. Київ: ДССУ, 379 с.
4. Бойко, А. І., & Новицький, А. В. (1997). Підвищення надійності кормодробарок та подрібнювачів. Механізація сільськогосподарського виробництва, III, 6–8.2.
5. Калетнік, Г. М., Кулик, М. Ф., Петриченко, В. Ф., та ін. (2007). Основи перспективних технологій виробництва продукції тваринництва (Г. М. Калетнік, М. Ф. Кулик, В. Ф. Петриченко (Ред.)). Вінниця: Енозіс. 584 с.
6. Гевко, І., Рогатинський, Р., & Дячун, А. (2012). Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами. Вісник ЛНАУ. Агроінженерні дослідження, (16), 237–246.
7. Nevko, R. V., & Klendiy, O. M. (2014). The investigation of the process of a screw conveyor safety device actuation. INMATEH Agricultural Engineering, 42(1), 55–60.
8. Pankiv, V. (2017). Throughput capability of the combined screw chopper conveyor. Вісник ТНТУ, 1(85), 69–79.
9. Рогатинський, Р., Гевко, І., & Рогатинська, Л. (2012). Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем. Вісник ТНТУ, 1(69), 123–230.

10. Pankiv, V. R., & Tokarchuk, O. A. (2017). Investigation of constructive geometrical and filling coefficients of combined grinding screw conveyor. *INMATEH Agricultural Engineering*, 51(1), 59–68.
11. Fitzgerald, L. (1990). Winter feeding of cattle. *Biatas Tillage Farmer*, 44(9), 19–20.
12. Herlitzius, T., Becherer, U., & Teichmann, J. (2009). Messer von Feldhäckslern zum richtigen Zeitpunkt schleifen—Grundlagenuntersuchungen. *Landtechnik*, 64(2), 131–132.
13. Jurco, V. (1989). Vplyv zloženia krmnej dávky na kvalitu mlieka. *Náš Chov*, 49(2), 119–121.
14. Виговський, А. Ю., Барановський, В. М., Паньків, В. Р., & Грицай, Ю. В. (2019). Обґрунтування параметрів шнекових транспортерів-подрібнювачів коренеплодів. Київ: Аграр Медіа Груп. 300 с.
15. Грицай, Ю. В., Попович, П. В., Барановський, В. М., & Паньків, В. Р. (2018). Комбінований шнековий-транспортер подрібнювач (Патент України № 125415, u201711835).
16. Грицай, Ю. В. (2018). Математична модель функціонування завантажувального бункера транспортера-подрібнювача. Актуальні задачі сучасних технологій: тези VII МНТК молодих учених та студентів (Т.1, с. 71–72). Тернопіль: ФОП Паляниця В. А.
17. Барановський, В. М., Дубчак, Н. А., Теслюк, В. В., та ін. (2015). Основи розробки комбінованих очисних систем коренезбиральних машин. Тернопіль. 176 с.
18. Herasymchuk, N. A., Baranovsky, V. M., Herasymchuk, O. O., & Pastushenko, A. S. (2018). Analytical research results of the combined root digger. *INMATEH Agricultural Engineering*, 54(1).

19. Паньків, М. Р., та ін. (2002). Динамічний аналіз взаємодії коренеплоду з рифом еліпсного вальця. Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин, (32), 234–241.
20. Паньків, М. Р. (2000). Транспортно-сепаруючі робочі органи бурякозбиральних машин. Сільськогосподарські машини, (7), 108–115.
21. Паньків, М. Р., & Гевко, І. Б. (2002). Експериментальні дослідження сепарації вороху коренеплодів кулачково-вальцьовим очисником. Науковий вісник НАУ, (80), 253–262.
22. Пилипець, М. І. (1998). Технологічні основи очистки і сортування коренеплодів. Збірник наукових праць НАУ. Механізація СГВ, 4, 354–367.
23. Пилипець, М. І., та ін. (2001). Дослідження очисників-сортувальників, створених на основі профільних навитих заготовок. Сільськогосподарські машини, (8), 197–204.
24. Пилипець, М. І., Гевко, І. Б., & Паньків, М. Р. (2000). Визначення кінематичних і технологічних параметрів кулачкових транспортно-технологічних систем машин. Вісник ТДТУ, 2(4), 70–77.
25. Amin, M. N., & Hossain, M. A. (2021). Development and evaluation of a mechanical carrot washer. *CIGR Journal*, 23(2), 83–92.
26. Ambrose, D. C. P., Thambidurai, P., & Ravi, R. (2013). Development of a manually operated root crop washer. *African Journal of Agricultural Research*, 8(14), 1259–1267.
27. El-Sayed, M., El-Awady, M., & Kotb, H. (2020). Development of a small-scale washing machine for root crops. *International Journal of Advanced Research*, 8(5), 475–485.
28. Khomenko, M. D. (2019). Improvement of schemes and equipment for sugar beet washing. *Proceedings of NUFT (тези/огляд, PDF)*. Київ.

29. Moos, J. A., & Steele, D. D. (2002). A small-scale mechanical carrot washer for research samples. Department of Agricultural & Biosystems Engineering, NDSU (технічний звіт).

30. Amin, M. N., Hossain, M. A., & Rahman, M. M. (2023). Development and evaluation of carrot washer for smallholders. *International Journal of Agricultural Technology* (або суміжне індексоване видання; PDF).

31. Ashok, P., & Kumar, H. P. (2023). Design of carrot washing and grading machine. *Proceedings / Conference Paper*.

32. Spapens-Oerlemans, E., et al. (2014/2025). Approach to better beet washing (Part 1/2). *Industry white paper / conference series on sugar beet washing*. (Практичні результати для механічного та струминного миття буряків).

33. Suparlan, S., et al. (2025). Design and performance evaluation of brush roller-type tuber washer. *Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.xxxx/xxxx>

34. Southern Fabrication Works. (2024). Potato washing systems: Drum/barrel washer configurations for root crops. *Technical note / product brief*.

# ДОДАТКИ

## Додаток А

Вихідними даними до розрахунку об'єму робіт будуть: поголів'я корів на молочно-товарній фермі - 400 голів; плановий річний надій від корови - 5600 кг; раціон годівлі при такій продуктивності (табл.).

## Добовий раціон годівлі корів

Вид кормів	Період годівлі	
	Зимовий (210 діб)	Літній (155 діб)
Силос кукурудзяний	28	-
Сіно	6,5	-
Сінаж	8,7	-
Коренеплоди	7,9	-
Комбікорм	3,3	2,8
Зелена маса	-	59,5
Всього	54,4	62,3

Загальний річний об'єм робіт процесу подрібнення коренеплодів приготування та роздавання кормів буде рівна

$$P = 1,1g_{\text{доб}}n_k D = 1,1 \cdot 7,9 \cdot 400 \cdot 210 = 729960 \text{ кг} = 730 \text{ т.}$$

де  $g_{\text{доб}}$  – добова потреба в коренеплодах на голову, кг.

$n_k$  – кількість корів на фермі, гол.

$D$  – тривалість періоду підготовки коренеплодів, діб.

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

**Кафедра інжинірингу технічних систем**

# **Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів обладнання для підготовки коренеплодів до згодовування**

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-3-24  
Курытник Євгеній Юрійович

**Керівник:** к.т.н., доцент  
Івлєв Віталій Володимирович

## Мета і задачі досліджень

Мета дослідження - розробити та обґрунтувати конструктивно-режимні параметри удосконаленої барабанної коренебульбомийки енергоємності процесу при досягненні вимог до якості миття й мінімізації пошкоджуваності коренеплодів.

Завдання дослідження.

1. Провести поглиблений аналіз існуючих конструкцій барабанних мийок, визначити критичні фактори якості миття, травмування і витрат ресурсів; сформулювати технічні вимоги до удосконаленої конструкції.
2. Розробити модель руху коренеплодів та потоку в частково заповненому обортовому барабані з перфораціями/лопатками; визначити вплив колової швидкості ( $\approx 0,8-1,1$  м/с), кута/висоти лопаток, кроку секцій і витрати води на інтенсивність від-мивання та переорієнтацію коренеплодів.
3. Провести лабораторні випробування за планом експерименту (факторіальний або відгук-поверхня), виміряти: залишкову забрудненість (%), пошкоджуваність (%), втрати маси/поживних речовин, витрати води ( $\text{м}^3/\text{т}$ ) та енергії ( $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{т}$ ).
4. Порівняти результати з базовою серійною барабанною мийкою; визначити приріст якості, зниження водо- та енерговитрат, зміну продуктивності.
5. Розрахувати собівартість експлуатації, строк окупності та екологічний ефект (зменшення стоків/мулу).
6. Сформулювати практичні рекомендації з доведення конструкції до дослідного зразка і впровадження на фермах/у переробці з урахуванням локальних обмежень по воді та вимог до якості.

# Аналіз стану питання

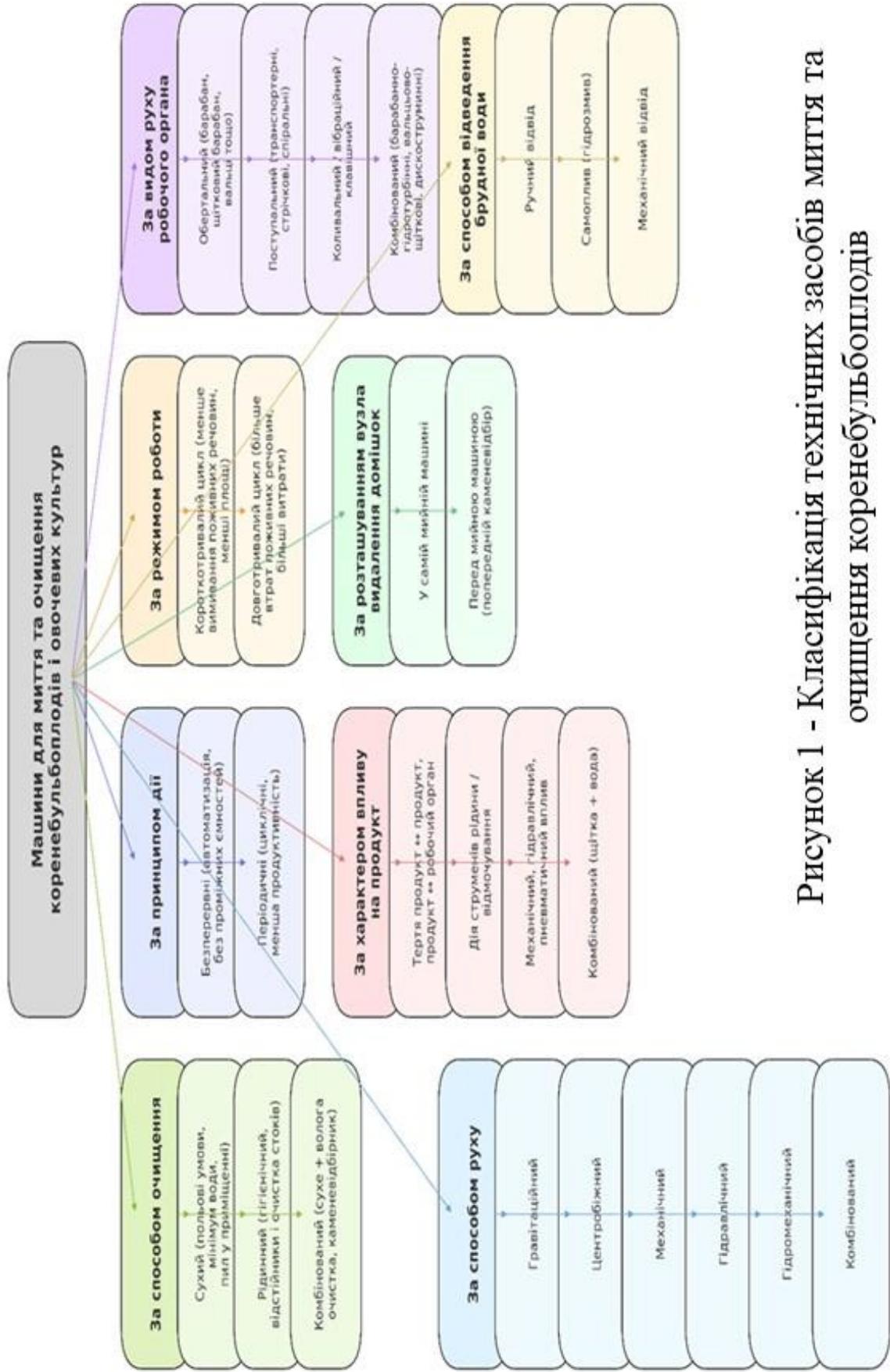


Рисунок 1 - Класифікація технічних засобів миття та очищення коренебульбоплодів

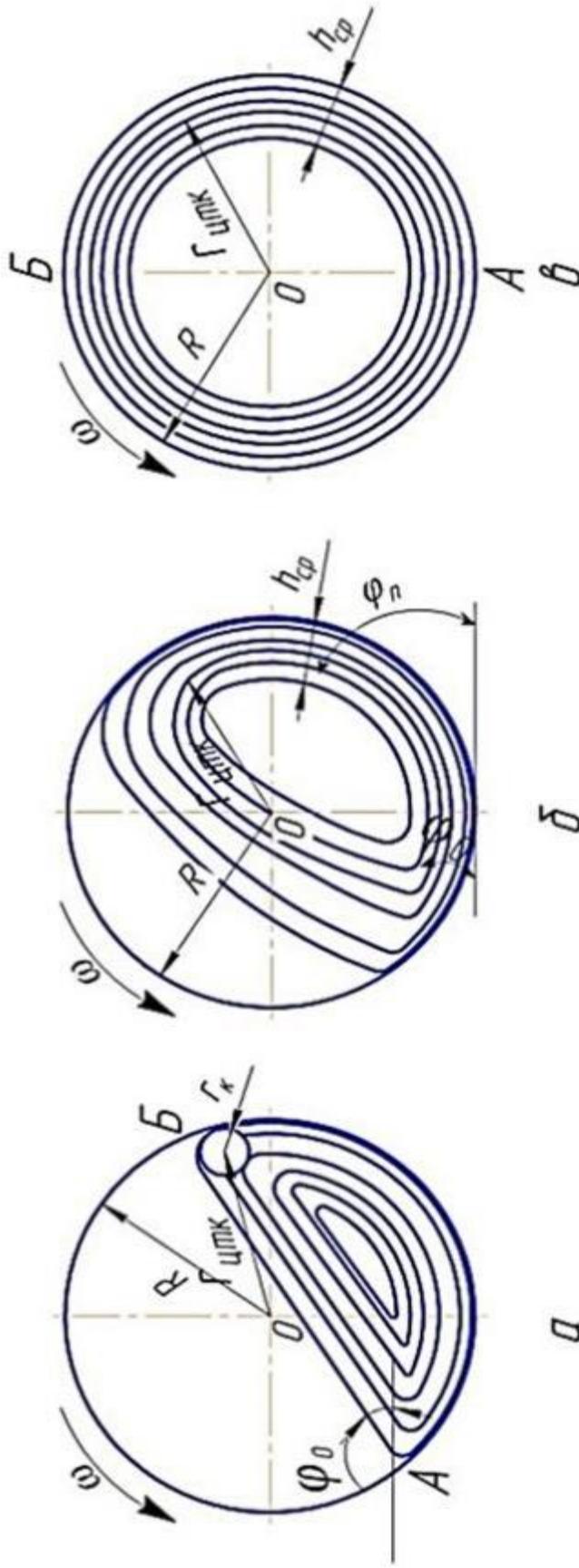


Рисунок 3 - Схема руху коренебульбоплодів у барабані залежно від частоти обертання

а) частота обертання  $n=0,45 n_{кр}$ ;

б) частота обертання  $n=n_{кр}$ ;

в) частота обертання  $n>n_{кр}$ .

$$n_{кр} \approx \frac{30}{\sqrt{R_6}}, \text{ де } R_6 - \text{ радіус барабана, м}$$

Як видно з рисунка 3, коренебульбоплоди беруть участь у процесі миття шляхом перетирання лише вздовж хорди АБ, тоді як решта об'єму маси пасивно переміщується знизу догори, займаючи зайві внутрішні об'єми. Для інтенсифікації роботи коренебульбомийної машини частоту обертання барабана можна збільшити до значення  $n=n_{кр}$ .

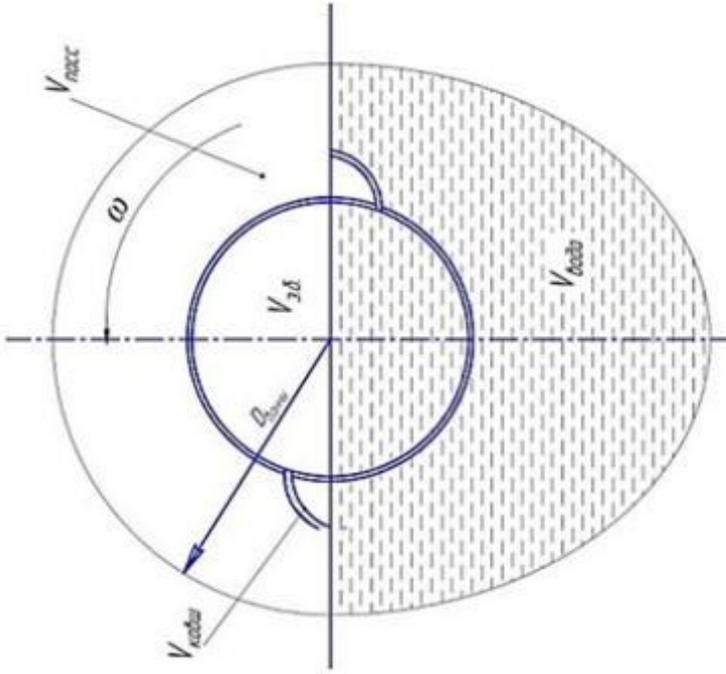


Рисунок 4 - Схема до розрахунку об'єму мийної ванни гідротурбінної коренебульбомийки

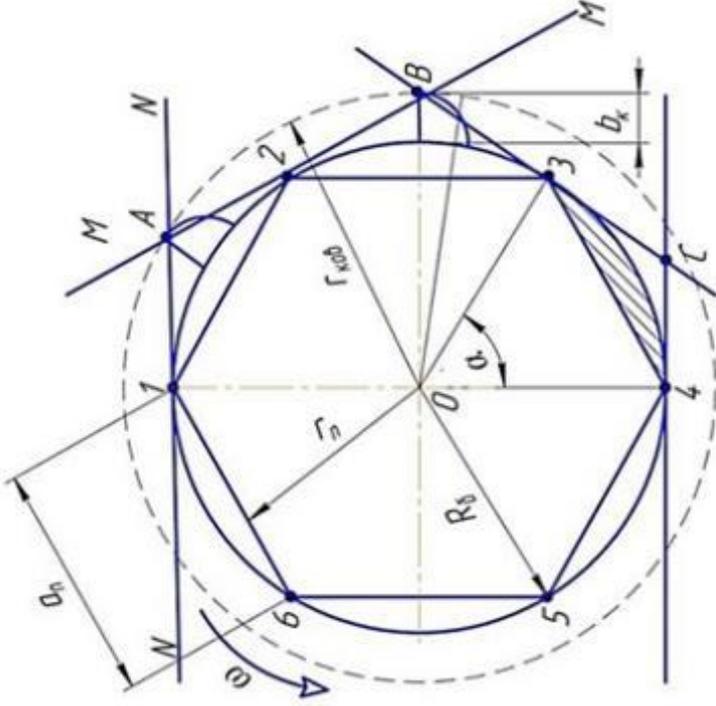


Рисунок 5 - Схема сегментації шару (продукт + вода) у барабані радіуса  $R$  та траєкторій нагнітальних ковшів  $R_{ков}$

Щоб маса води з ванни однаково впливала на масу продукту в кожному сегменті, нагнітальні ковші потрібно рівномірно розмістити по поверхні барабана радіуса  $R$  і довжини  $L$ . Для цього навколо того самого кола будуть описаний правильний  $n$ -кутник

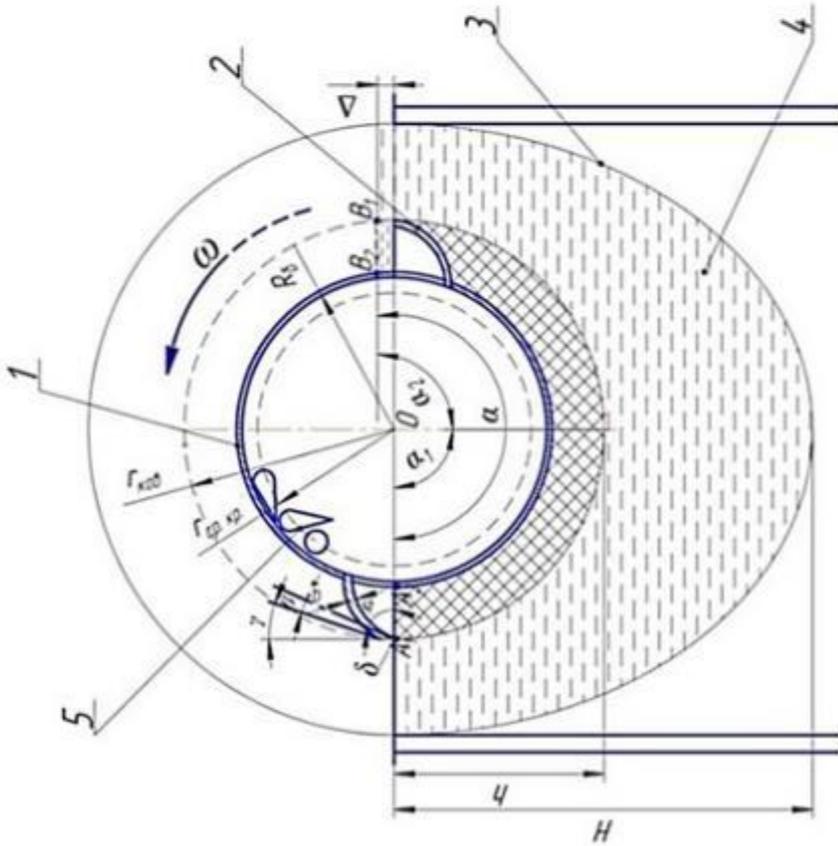


Рисунок 6 – Схема для теоретичного розрахунку параметрів нагінтальних ковшів

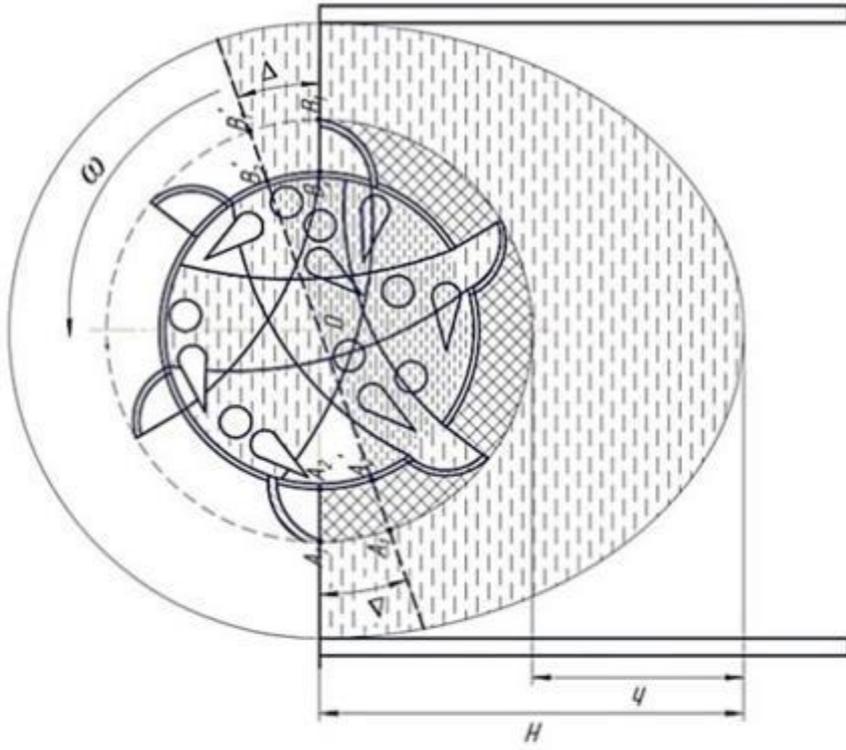


Рисунок 7 – Схема для теоретичного розрахунку параметрів водних струменів

Основними елементами гідротурбінної коренебульбомийки (рис. 6) є барабан 1, частково заповнений коренеплодами 5, на якому по гвинтовій лінії розташовані нагінтальні ковші 2. Барабан занурений у ванну 3 з водою 4. Струмені води, що формуються ковшами, створюють гіродинамічний вплив на коренебульби, тим самим забезпечуючи їхнє переміщення, взаємне перетирання та інтенсифікацію процесу миття.

## Лабораторні дослідження

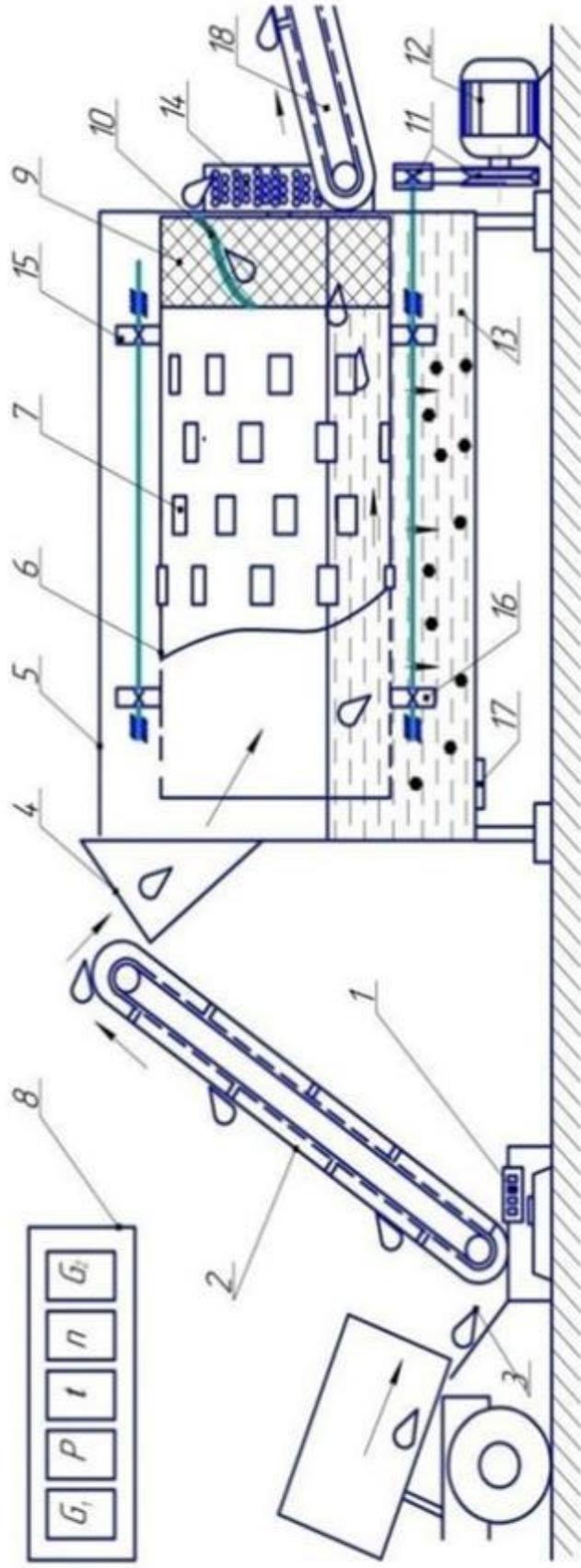


Рисунок 8 – Схема лабораторної установки для дослідження барабанної коренебульбомийки.

1 – ваги; 2, 18 – транспортери; 3 – бункер забруднених коренеплодів; 4 – завантажувальна воронка; 5 – кожух; 6 – барабан; 7 – нагнітальні ковші; 8 – пульт керування; 9 – секція видалення води і забруднень; 10 – вивантажувальний скребок; 11 – шків; 12 – регульований електродвигун; 13 – грязевідстійник; 14 – лоток; 15 – притискні ролики; 16 – опорно-привідні ролики; 17 – заслінка.

## Лабораторні дослідження

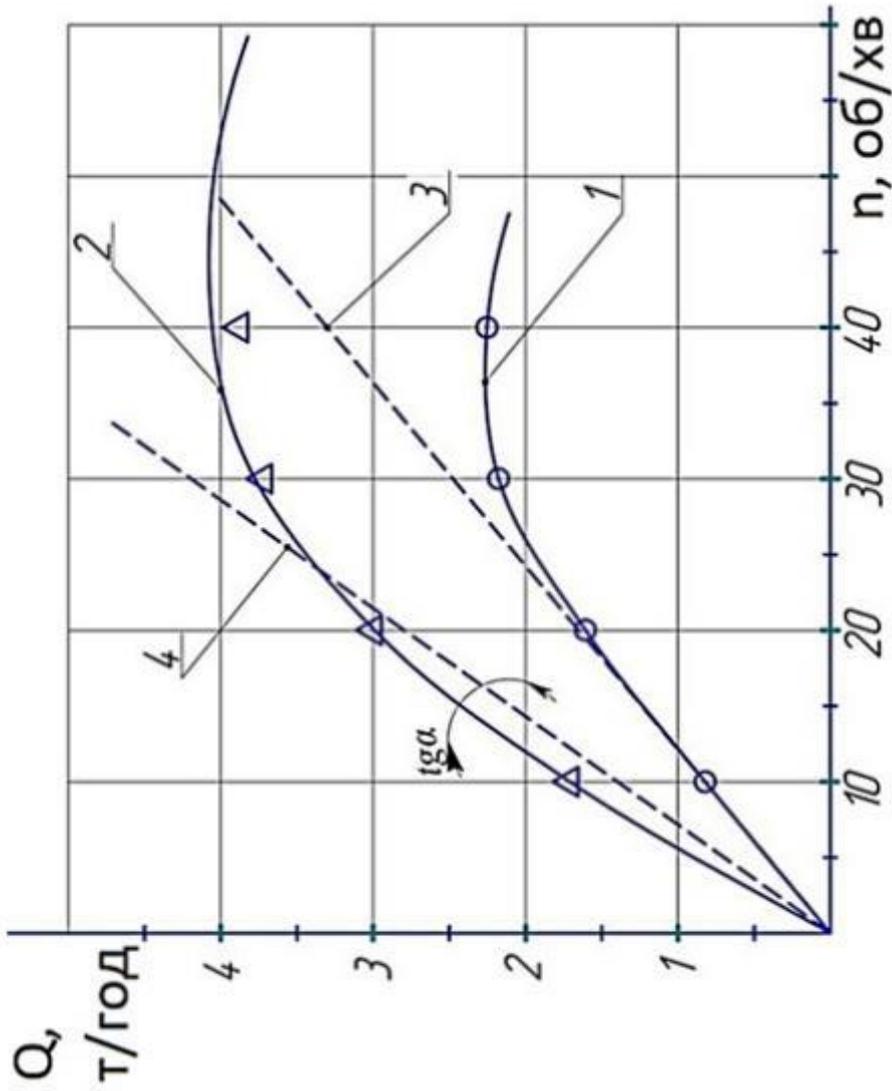


Рисунок 9 – Продуктивність барабанної коренебульбомийки з вивантажувальними ковшами залежно від частоти обертання при очищенні цукрового буряку із загальною забрудненістю 9,9 % та вологістю забруднювача 17,1 %, за витрати води 310 л/т продукту, втрати маси 5,2 %, пош-кодження шкірки 9,9 %.

1 – графік продуктивності при одному вивантажувальному ковші;

2 – графік продуктивності при двох вивантажувальних ковшах;

3 – теоретична залежність продуктивності при одному ковші;

4 – теоретична залежність продуктивності при двох ковшах.

Зростання продуктивності  $Q$  спостерігалось за лінійною залежністю до частоти обертання 20 хв<sup>-1</sup> як при одному, так і при двох ковшах. Підвищення частоти від 20 до 30 хв<sup>-1</sup> зменшувало інтенсивність росту продуктивності: приблизно до 2260 кг/год при одному ковші та до 3800 кг/год при двох ковшах. Подальше збільшення частоти у діапазоні 30–40 хв<sup>-1</sup> давало приріст продуктивності лише на 1–2 %, що пояснюється повторним захопленням частини коренеплодів у зону обертання під дією відцентрових сил. При цьому залишкова забрудненість продукту збільшувалася більш ніж на 3 %.

## Лабораторні дослідження

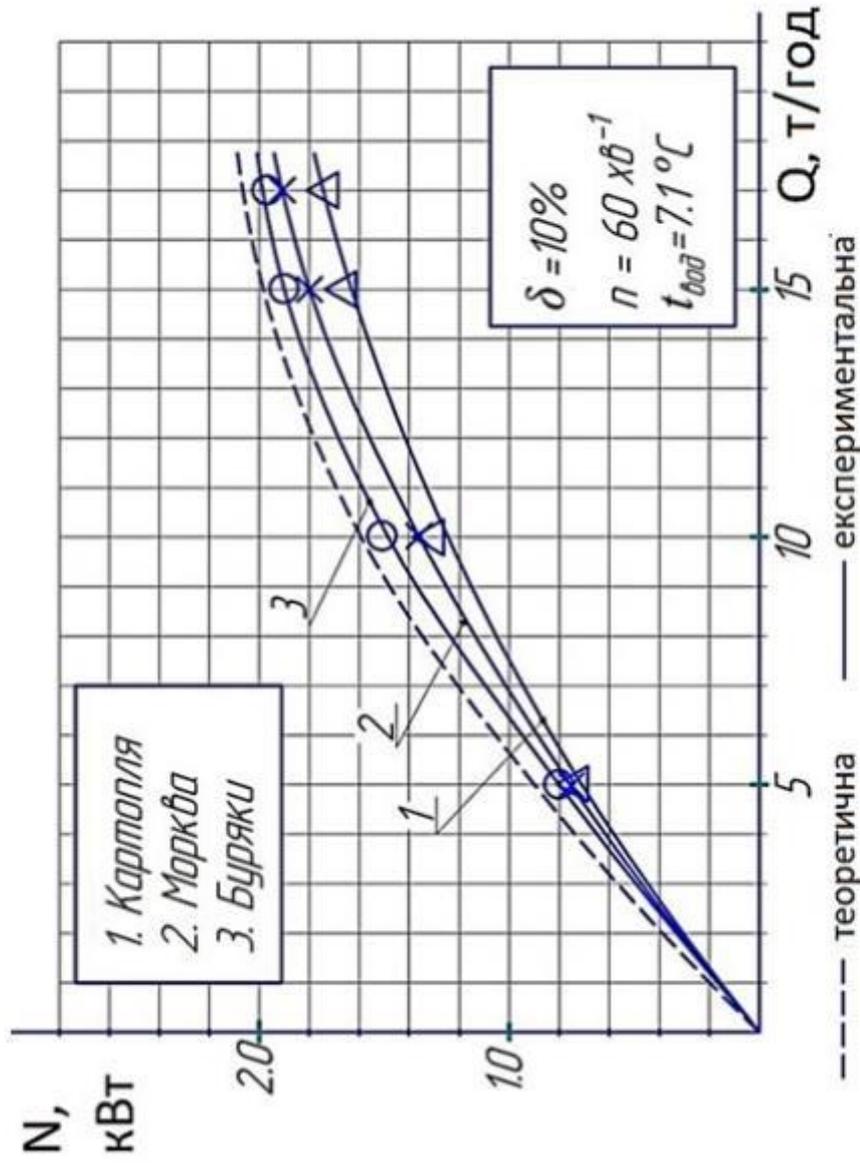


Рисунок 10 – Графіки залежності споживаної потужності від продуктивності миття коренебульбоплодів

Аналіз графіків витрат електроенергії на привід гідротурбінної коренебульбомийки показав, що найбільш енерговитратною культурою для миття виявилася цукрова бурякова сировина.

При температурі води  $7,1 \text{ }^\circ\text{C}$  та продуктивності  $5 \text{ т/год}$ , за початкової забрудненості  $10 \%$ , потрібна потужність становила  $0,8 \text{ кВт}$  (залежність 3).

Менш енерговитратною культурою в процесі миття є картопля: за продуктивності  $5 \text{ т/год}$  необхідна потужність становила лише  $0,71 \text{ кВт}$ .

При митті кормової моркви за аналогічних режимів, що і при обробці цукрових буряків та картоплі, енергетичні витрати займали проміжне положення і змінювалися у межах  $0,73; 1,4; 1,8 \text{ та } 1,93 \text{ кВт}$ .

## Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Таблиця 1 – Оцінка небезпечних факторів та ризиків при експлуатації мийки коренеплодів

Небезпечний фактор / джерело небезпеки	Потенційні наслідки для працівника	Імовірність виникнення	Тяжкість наслідків	Рівень ризику*	Заходи щодо усунення / зниження ризику
Обертвий барабан мийки, ковші, привідні елементи	травмування рук, затягування в робочу зону	середня	висока	високий	монтаж захисних кожухів, блокування доступу до обертючих частин, заборона роботи при знятих кожухах
Робота електроприводу в умовах підвищеної вологості	ураження електричним струмом	середня	висока	високий	регулярна перевірка ізоляції, обов'язкове заземлення, УЗО, робота у діелектричних ЗІЗ
Слизька підлога від води та залишків ґрунту	падіння, забої, переломи	висока	середня	високий	протиковзке покриття, систематичне прибирання робочої зони, правильний дренаж та ухили
Бризки брудної води та частинок ґрунту	подразнення очей, шкіри, інфікування	середня	середня	середній	використання захисних окулярів, рукавиць, спецодегу, миття рук після роботи
Переохолодження при роботі на відкритих майданчиках взимку	застудні та запальні захворювання	середня	середня	середній	погодні ЗІЗ, скорочення часу перебування, організація перерв для обігріву
Важкі фізичні навантаження при ручній подачі коренеплодів	перенавантаження спини, м'язів верхніх кінцівок	середня	середня	середній	застосування транспортерів, засобів малої механізації, навчання ергономіці підйому вантажів
Рухомі транспортні засоби під час доставлення коренеплодів	наїзд, травмування	низька	висока	середній	організація окремих проходів, виділення транспортного маршруту, сигнальне позначення

## Показники економічної ефективності

Показник	Серійна барабанна	Удосконалена гідротурбінна
Річний обсяг робіт, т	730	730
Добовий обсяг, т	3,5	3,5
Продуктивність, т/год	5,0	6,0
Потужність приводу, кВт	1,20	0,80
Питома енергоемність, кВт·год/т	0,240	0,133
Витрати на ел. енергію, грн/т	0,62	0,35
Заробітна плата, грн/т	24,00	20,00
ТО та ремонт, грн/т	2,06	2,22
Амортизація, грн/т	24,52	26,46
Питома річні експлуатаційні витрати, грн/т	71,20	49,03
Економія експлуатаційних витрат, грн/т	—	22,17
Річний економічний ефект, грн	—	15840
Капітальні вкладення, грн	125000	177000
Строк окупності, років	—	3,31
Витрата води, л/т	210	180

За прийнятних умов економія становить близько 2,17 грн/т (3–5 %), річний ефект - 1,6 тис. грн при річному обсязі 730 т. З урахуванням різниці у капітальних вкладеннях строк окупності додаткових інвестицій оцінено на рівні 3,3 року; при включенні вартості води/очищення у статтю витрат - строк окупності скорочується.

## Загальні висновки

У дипломній роботі виконано комплексне дослідження, спрямоване на удосконалення технологічного процесу миття коренебульб та обґрунтування параметрів гідротурбінної мийки з метою підвищення ефективності механізації кормовиробництва у тваринництві. Проведено аналіз сучасних типів мийних машин, виявлено їх технічні недоліки та визначено на-прями підвищення продуктивності та енергоефективності процесу. На ос-нові теоретичних досліджень розроблено залежності, які описують динаміку рідини та поведінку коренебульб у барабані мийки, що дозволило обґрунтувати конструктивні та режимні параметри нагнітальних ковшів, оптимальні швидкісні режими та коефіцієнт заповнення робочої камери.

У ході експериментальних досліджень встановлено закономірності впливу частоти обертання барабана, витрати води та конструктивних параметрів робочих органів на продуктивність, якість миття та енергоспоживання установки. Визначено раціональні режимні параметри, які забезпечують стабільну роботу мийки, мінімальні втрати маси та допустимий рівень пошкодження поверхні коренебульб, що відповідає ветеринарно-зоотехнічним вимогам.

Розроблена удосконалена конструкція гідротурбінної коренебульбомийки забезпечує зниження питомої енергоемності процесу, зменшення витрати води та збільшення продуктивності порівняно з серійними аналогами. Економічна оцінка показала наявність позитивного річного економічного ефекту та зниження експлуатаційних витрат, що підтверджує доцільність впровадження запропонованого технічного рішення у виробничі умови.

Виконана робота має практичну цінність для тваринницьких господарств різних форм власності, може бути використана у складі технологічних ліній підготовки кормів та сприяє підвищенню рівня механізації і енергоефективності процесів приготування кормів для високопродуктивної худоби.